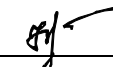


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АППАРАТУРИ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 Лисенко О.М.
(підпис) (ініціали, прізвище)

“16” 06 2020р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра

за спеціальністю 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

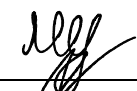
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Система автоматизованого керування віконними ролетами

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-61

Шваюк Максим Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник ст.викл. В.Г. Губар

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)



(підпис)

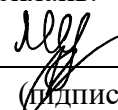
Рецензент Провідний інженер ТОВ "Радіонікс" І.О. Адаменко

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)



Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Київ - 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Факультет електроніки
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

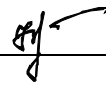
Освітньо-кваліфікаційний рівень – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Лисенко О.М.
(підпис) (прізвище ініціали)

« 20 » 03 2020р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Шваюку Максиму Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Система автоматизованого керування віконними ролетами

керівник проєкту Губар Вячеслав Григорович, старший викладач

затверджені наказом по університету від 25.05.2020 року №1196-С

2. Термін подання студентом проєкту 10 червня 2020 року

3. Вихідні дані до проєкту Система автоматизованого керування віконними ролетами. Пристрій для застосування у житлових, офісних або виробничих приміщеннях. Являє собою друковану плату із роз'ємами для підключення

аккумуляторної батареї та двигуна постійного струму. Кліматичне виконання УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69. Габаритні розміри для друкованої плати – не більше 110х60 мм, маса – не більше 100 г. Час напрацювання на відмову – не менше 10 років.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- огляд існуючих систем керування віконними ролетами;
- аналіз технічного завдання;
- розробка структурної схеми приладу;
- розробка схеми електричної принципової;
- вибір і обґрунтування електронно-компонентної бази;
- розміщення електронних компонентів на друкованій платі;
- конструкторсько – технологічний розрахунок друкованої плати;
- електричний розрахунок друкованої плати;
- температурний розрахунок компонентів із найбільшою потужністю;
- розрахунок віброміцності друкованої плати;
- розрахунок основних показників надійності;
- проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer;
- проектування програмного забезпечення;
- висновки.


5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

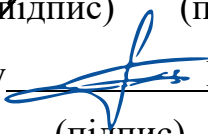
- схема електрична принципова – А1;
- креслення друкованої плати – А1;
- складальне креслення друкованої плати – А1.

6. Дата видачі завдання 17.02.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання та патентний пошук	17.02.20 - 26.03.20	виконано
2	Схемотехнічне проєктування та вибір елементної бази	26.03.20 - 02.04.20	виконано
3	Виконання креслень схеми електричної принципової	02.04.20 - 09.04.20	виконано
4	Конструкторсько-технологічні розрахунки	09.04.20 - 23.04.20	виконано
5	Проектування друкованого вузлу у середовищі Altium Designer	23.04.20 - 30.04.20	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.20 - 03.05.20	виконано
7	Розрахунок надійності друкованого вузлу	03.05.20 - 07.05.20	виконано
8	Розрахунок віброміцності друкованої плати	07.05.20 - 14.05.20	виконано
9	Розрахунок теплового режиму	14.05.20 - 21.05.20	Виконано
10	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузлу	21.05.20 - 28.05.20	виконано
11	Оформлення пояснювальної записки	28.05.20 – 8 .06.2020	виконано

Студент  М.В. Шваюк
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту  В.Г. Губар
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Система автоматизованого керування віконними ролетами.

// Дипломний проєкт. Шваюк М.В. КПІ ім. Ігоря Сікорського, факультет електроніки, кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури, група ДК-61. — К.: КПІ, 2020. — 104 сторінки, 17 таблиць, 30 рисунків, 4 креслення, 21 використане джерело.

Метою даного дипломного проєкту є розробка автоматизованої системи керування віконними ролетами. Було проаналізоване технічне завдання на проєктування та розглянуті існуючі технічні рішення. У ході аналізу був зроблений висновок які функціональні підсистеми має включати фінальний виріб, їх задачі та способи взаємодії між собою. Для реалізації системи було вирішено використати двошарову друковану плату. Був проведений вибір електронної компонентної бази, спроєктовано схему електричну принципову, проведене трасування друкованого вузлу. Щоб переконатися, що розроблений пристрій відповідає вимогам технічного завдання – проведені необхідні розрахунки. Розроблений пристрій має широкі можливості по автоматизації процесу контролю освітленості приміщення. Його функціонал може бути доповнений та оновлений. Цьому сприяє наявність у пристрою можливості доступу до мережі Інтернет.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ОСВІТЛЕНІСТЬ, OPENWRT, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, МІКРОКОНТРОЛЕР.

Abstract

Automated window shutters control system.

// Diploma project. Shvaiuk M.V. NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", faculty of electronics, the department of design of electronic digital equipment, group DK-61. - K.: KPI, 2020. - 104 pages, 17 tables, 30 figures, 4 of the drawings, 21 sources used.

The purpose of this diploma project is to develop an automated control system for window shutters. The terms of reference for the design were analyzed and the existing technical solutions were explored. During the analysis, it was concluded which functional subsystems the final product should consist of and ways of interaction between them. It was decided to use a two-layer PCB to implement the system. The electronic component base was selected, the electrical circuit diagram was designed, and the PCB was traced. To make sure that the developed device meets the requirements of the technical task - the necessary calculations are performed. The developed device has wide possibilities for automation of the process of control of illumination in a room. Its functionality can be supplemented and updated. This is facilitated by the device's ability to access the Internet.

KEYWORDS: CONTROL SYSTEM, ROOM ILLUMINATION, OPENWRT, INTERNET OF THINGS, MICROCONTROLLER.





**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: **Система автоматизованого керування віконними
ролетами**

Київ – 2020

ЗМІСТ

	Стор.
Перелік використаних скорочень	4
Вступ	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	7
1.1. Теоретичні відомості	7
1.2. Огляд існуючих технічних рішень	12
РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ	17
2.1. Розробка структурної схеми пристрою	17
2.2. Вибір елементної бази	18
2.3. Розробка схеми електричної принципової	36
РОЗДІЛ 3. РОЗМІЩЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ДРУКОВАНІЙ ПЛАТІ	49
РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	54
4.1. Вибір та обґрунтування типу друкованої плати	54
4.2. Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати	55
4.3. Вибір методу виготовлення друкованої плати	56
4.4. Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати	57
4.5. Розрахунок елементів друкованого монтажу	58
4.5.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струмі для лінії GND	58

					<h1>ДК61.421455.001 ПЗ</h1>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			
Розробив		М.В. Шваюк			Система автоматизованого керування віконними ролетами Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевірив [Введіть текст]		О.О. Якименко					1
Реценз.						КПІ ім. І.Сікорського, ФЕЛ, ДК-61	
Н. Контр.		В.Г. Губар					
Затвердив		В.Г. Губар					

4.5.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому	60
4.5.3. Розрахунок номінального діаметру монтажного отвору	61
4.5.4. Розрахунок діаметра контактної майданчика.....	62
4.5.5. Розрахунок мінімальної ширини друкованого провідника ..	63
4.5.6. Розрахунок мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком	64
4.5.7. Розрахунок мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками.....	65
4.5.8. Розрахунок мінімальної відстані між двома контактними майданчиками	66
РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	68
5.1. Розрахунок падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику	68
5.2. Найбільша ємності між двома сусідніми провідниками.....	69
5.3. Найбільша взаємна індуктивність двох паралельних друкованих провідників	70
5.4. Потужність втрат двосторонньої друкованої плати.....	71
РОЗДІЛ 6. ТЕМПЕРАТУРНИЙ РОЗРАХУНОК КОМПОНЕНТІВ ІЗ НАЙБІЛЬШОЮ ПОТУЖНІСТЮ	73
РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК ВІБРОМІЦНОСТІ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ.....	76
РОЗДІЛ 8. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ.....	79
8.1. Розрахунок коефіцієнта навантаження для резисторів.....	80
8.2. Розрахунок коефіцієнта навантаження для конденсаторів.....	81
8.3. Розрахунок коефіцієнта навантаження для діодів.....	81
8.4. Розрахунок коефіцієнта навантаження для транзисторів	81
8.5. Розрахунок результуючої інтенсивності відмов.....	82
РОЗДІЛ 9. МЕТОДИКА ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ У СЕРЕДОВИЩІ ALTIUM DESIGNER.....	86
9.1. Створення проєкту друкованого вузлу	86

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9.2. Створення бібліотеки умовних графічних позначень.....	87
9.3. Створення бібліотеки посадкових майданчиків	88
9.4. Створення схеми електричної принципової	88
9.5. Трасування друкованої плати	89
РОЗДІЛ 10. ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	91
10.1. Вибір операційної системи для мікроконтролера	91
10.2. Вибір методу роботи із периферією STM-32	92
10.3. Опис алгоритму попереднього налаштування пристрою	93
10.4. Опис основного алгоритму роботи системи	95
10.5. Забезпечення тривалого часу роботи системи.....	95
Висновки.....	99
Список літератури	101
ДОДАТОК А. Технічне завдання на проєктування	
ДОДАТОК Б. Система автоматизованого керування віконними ролетами. Перелік елементів.	
ДОДАТОК В. Друкована плата. Специфікація.	
ДОДАТОК Г. Сертифікат про участь у Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення».	
ДОДАТОК Д. Текст статті «ЗАСТОСУВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ OPENWRT У ПРИСТРОЯХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (ІОТ)»	
ДОДАТОК Е. Текст статті «МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ОСВІТЛЕНOSTІ ПРИМІЩЕНЬ ПРИРОДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА ЗАСОБАМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ»	
ДОДАТОК Є. Текст статті «СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВІКОННИМИ РОЛЕТАМИ»	

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДП – друкована плата

ДМ – друкований монтаж

КМ – контактний майданчик

ТЗ – технічне завдання

ФНЧ – фільтр низьких частот

ОС – операційна система

ПЗ – програмне забезпечення

ІС – інтегральна схема

БЗ – база даних

ТЗ – технічне завдання

ШИМ – широтно – імпульсна модуляція

УГП – умовні графічні позначення

USB - Universal Serial Bus

UART - universal asynchronous receiver/transmitter

IoT – internet of Things

FIR – finite impulse response

RTC – real time clock

DSP – digital signal processing

SoC – System on Chip

SDK – software development kit

IDE – integrated development environment

HAL – hardware abstraction layer

MOSFET – metal–oxide–semiconductor field-effect transistor

GPIO – general purpose input-output

DC – direct current

PID - proportional–integral–derivative

RTOS – real time operating system

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Останнім часом технології “розумного будинку” стають дедалі розповсюдженішими. Вони все більше інтегруються у життя людей, підвищуючи рівень комфорту та беручи на себе певні задачі, які раніше доводилося вирішувати самотужки. Така тенденція спостерігається і у контролі освітленості приміщень - інженери намагаються автоматизувати цей процес та зробити його зручнішим.

Зазвичай, регулювання освітленості помешкання відбувається вручну, за допомогою жалюзі, ролет (рулонних штор) або тканинних штор. Це вимагає втручання користувача для регулювання яскравості освітлення при зміні його виду діяльності або інтенсивності зовнішнього освітлення. Це робить неможливим зміну рівня освітленості без участі людини.

Система автоматизованого керування віконними ролетами – це пристрій, що вирішує задачу автоматичного регулювання освітленості всередині помешкання. Багато з існуючих систем забезпечують лише функціонал віддаленого відкривання-закривання ролет, приймаючи команди користувача з пульта віддаленого керування. Але не можуть робити це автоматично, згідно зазделегідь визначеної користувачем програми. Через недосконалість існуючих систем, прийнято рішення наділити пристрій функціоналом IoT.

Метою проєкту є розробка автоматизованої системи керування ролетами із можливістю подальшого впровадження пристрою у серійне виробництво.

В проєкті розглянуті наявні методи контролю освітленості приміщення, створено структурну схему приладу. Розроблено схему електричну принципову та друкований вузол, що її реалізує. Проведений вибір компонентної бази, типу матеріалу ДП та класу точності виконання ДП.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведені всі необхідні розрахунки, які підтверджують, правильність схемотехнічних рішень і доводять, що розроблена система задовольняє вимогам ТЗ.

Описана концепція взаємодії системи і користувача. Наведені блок-схеми та опис алгоритмів роботи програмованих компонентів системи. Передбачено можливість подальшої модернізації та перепрограмування приладу.

За темою дипломного проєкту підготовані наступні публікації:

1. дві статті на Міжнародну наукову інтернет-конференцію "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 47) за темами:
 - МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ОСВІТЛЕНOSTІ ПРИМІЩЕНЬ ПРИРОДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА ЗАСОБАМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT);
 - ЗАСТОСУВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ OPENWRT У ПРИСТРОЯХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT).
2. на Міжнародну науково-практичну конференцію "Актуальні проблеми сучасної науки та освіти " (15-16 квітня 2020 року) за темою «СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВІКОННИМИ РОЛЕТАМИ».

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1 Теоретичні відомості

Огляд існуючих методів контролю освітленості

Системи контролю освітленості приміщення поділяються на 2 основні типи: зовнішнього та внутрішнього монтажу. У ході проєктування системи зовнішнього монтажу не розглядалися через те, що кріплення ззовні приміщення вимагає наявності спеціального обладнання та навичок. Також, бувають ситуації коли кріплення ззовні є неможливим через заборону змінювати вигляд фасадної частини будинку.

Системи внутрішнього монтажу можна розділити на три основні категорії: жалюзі, ролети (рулонні штори) та римські штори. Кожна із систем має свої переваги і недоліки.

Жалюзі є найрозповсюдженішим видом систем. Вони мають найнижчу ціну і, використовуючи їх, найпростіше отримувати зворотній зв'язок між кутом повороту пластин та поточним рівнем освітленості приміщення. Але зовнішній вигляд таких систем є не естетичним та погано поєднується із сучасними інтер'єрами приватних осель. За ними складно доглядати через необхідність протирати від пилу пластинки по-окремі. Тому використання жалюзі негативно вплине на конкурентоздатність пристрою.

Тканинні ролети є другим за розповсюдженістю типом систем. Вони не мають недоліків жалюзі. Через вертикальне положення тканини – на них не осідає пил – тому ролети не потребують догляду. Системи такого типу можуть бути підібрані під будь-який стиль інтер'єру, що робить можливим їх використання як у житлових, так і у виробничих приміщеннях та офісах. Їх недоліком є складність отримання моделі залежності освітленості від положення штори. Проте, цей недолік може бути скомпенсований програмно.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Римські штори є найменш розповсюдженим варіантом. Їх неодмінною перевагою є зовнішній вигляд. Проте, найвища вартість, складність отримання моделі залежності освітленості та механізм регулювання положення штор, який чинить проблеми для кріплення електродвигуна, робить використання такого роду систем найменш доцільним.

Проаналізувавши доступні варіанти, можна зробити висновок, що найбільше для автоматизованого керування освітленням підходить система на основі тканинних ролет. Такий вибір позитивно вплине на конкурентоздатність пристрою. Також, особливості конструкції системи дозволяють поєднати її із майже будь-яким інтер'єром, що стане перевагою для потенційних користувачів продукту. Проте, слід врахувати, що такий вибір робить складнішою програмну реалізацію функціоналу автоматичного підтримання сталого рівня освітленості в приміщенні.

Методи підтримки сталого рівня освітленості

Згідно ТЗ, розроблювана система повинна мати функціонал автоматичного підтримання сталого рівня освітленості в приміщенні при зміні зовнішньої освітленості. Це може бути корисне коли користувач читає або дивиться телевізор, щоб занадто яскраве сонячне світло не заважало йому. Для забезпечення такого функціоналу, на пристрій встановлено датчик освітленості. В залежності від даних, що надходять з нього, регулюється положення ролет і, як наслідок, кількість світла, що проникає в приміщення. Ці дані мають бути певним чином оброблені та проаналізовані щоб прийняти рішення про встановлення ролет на певну висоту.

Простий спосіб регулювання

Найпростіший спосіб регулювання по-суті являє собою один оператор умови if-else. Якщо внутрішня освітленість зросла вище порогового значення – необхідно опустити ролети. Якщо вона впала нижче порогового значення –

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідно ролети підняти. В теорії, система має працювати. З часом ролети мають стати у положення, при якому всередині встановиться необхідний рівень освітленості.

Але, на практиці, такий результат недосяжний. Система буде рухати ролети ввєрх-вниз, намагаючись «спіймати» цю точку, але найменші зміни освітленості будуть виводити її із рівноваги. Можна додати так звану «мертву зону», щоб малі зміни освітленості не призводили до руху ролет, проте це лише зменшить масштаби проблеми, а не вирішить її.

Проаналізувавши всі переваги і недоліки наведеного методу – зроблено висновок що його використання є недоцільним.

PID – регуляція

PID – регулятор – це пристрій, що реалізує керування динамічною системою замкненого циклу [1]. Його принцип роботи полягає у формуванні вихідного сигналу, що є сумою трьох складових: пропорційної, інтегральної та похідної. Їх поєднання дозволяє налаштовувати вид вихідного сигналу із високою точністю. Схематично, будова PID – регулятора представлена на рис. 1.1.

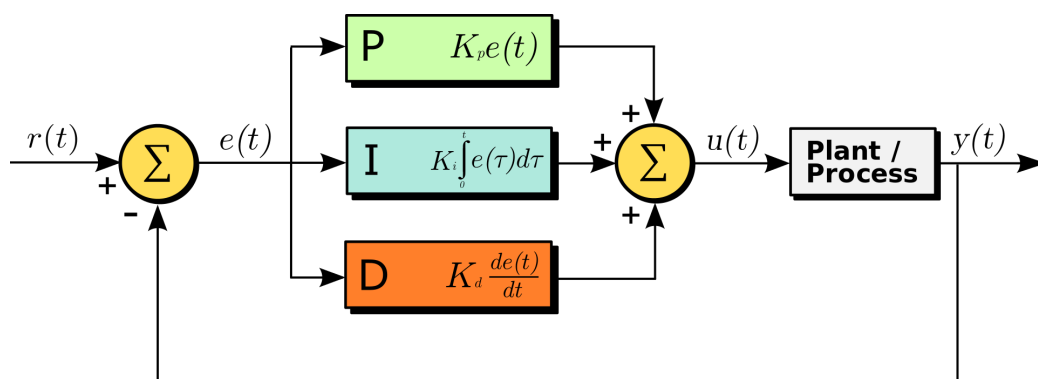


Рисунок 1.1 – Схематичне представлення роботи PID – регулятора [17]

Пропорційна складова (proportional) – генерує сигнал, що протидіє відхиленню регульованої величини від цільового значення у конкретний

момент часу. Вона є пропорційною цьому відхиленню. Величина згенерованого сигналу визначається коефіцієнтом пропорційного підсилення K_p . Наприклад, якщо відхилення від цільового значення у конкретний момент часу складає 5, а K_p дорівнює 2 – величина згенерованого сигналу – протидії буде 10. Зі збільшенням K_p зростає швидкість реакції системи на зміни. Проте, занадто сильне збільшення K_p вкупі з наявністю затримок в реакції системи, може призвести до виникнення автоколивань і втрати системою стабільності.

Інтегруюча складова (integral) – генерує сигнал, що компенсує відхилення регулюємої величини від цільового значення впродовж тривалого проміжку часу. Вона є пропорційною інтегралу по часу від різниці між цільовою та реальною величиною сигналу. Враховуючи це, можна сказати що наявність навіть незначної похибки впродовж тривалого часу призведе до поступового зростання інтегруючої складової. Через цю особливість, при неправильному підборі коефіцієнтів, через певний проміжок часу, інтегруюча складова може почати генерувати автоколивання, що виведуть систему із рівноваги. Тому результат роботи інтегруючої складової має бути скомпенсований іншими складовими.

Похідна складова (derivative) – генерує сигнал, що протидіє швидким, стрибкоподібним відхиленням регулюємої величини від цільового значення. Вона здатна скомпенсувати миттєву дію зовнішніх чинників на систему та нелінійні стрибки через характер самої системи. Проте, в цій особливості криється суттєвий ризик. У випадку наявності в сигналі високочастотних завад, або при низькій частоті дискретизації, похідна складова буде додавати до сигналу сильні стрибкоподібні відхилення, які негативно скажуться на результаті роботи регулятора. Через це, необхідним є пропускання сигналу через ФНЧ перед тим як подавати його на вхід PID – регулятора.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи перераховані особливості PID – регулятора, він задовольняє необхідним вимогам для підтримання сталого рівня освітленості всередині приміщення тому його використання у проєкті є обґрунтованим. В той же час, для недопущення негативного впливу за сторони похідної складової регулятора, сигнал сперше необхідно пропустити через ФНЧ.

ФНЧ

Дані з сенсора освітленості всередині приміщення будуть представлені у цифровому вигляді. Тому необхідно використати цифровий фільтр. Головною вимогою до фільтра була як можна менша пульсація сигналу у полосі пропускання [2]. Як видно із рис. 1.2, під такі вимоги найліпше підходить фільтр Батерворта, його і буде використано.

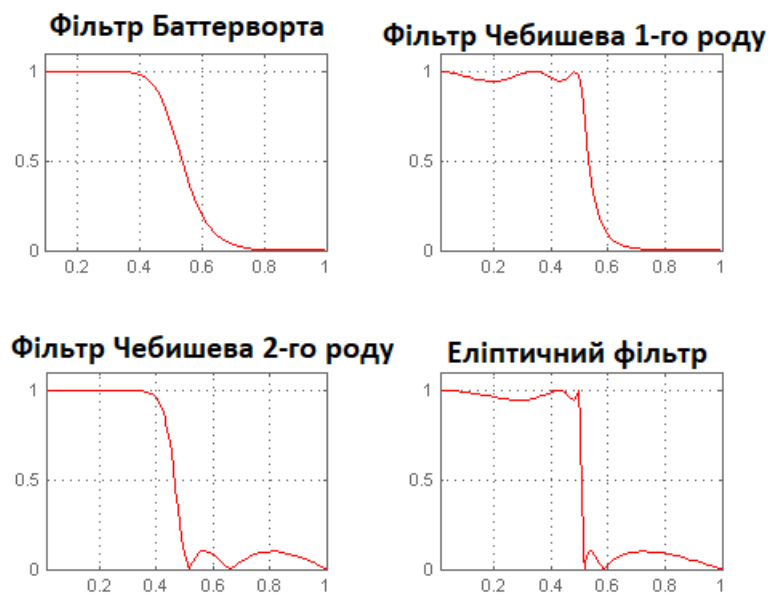


Рисунок 1.2 – АЧХ різних видів цифрових фільтрів

1.2 Огляд існуючих технічних рішень

Існує три основних типи систем контролю інтенсивності освітлення приміщення.

Не автоматизовані системи з дистанційним керуванням

Такий тип систем є найпростішим. Весь функціонал, який вони надають, полягає у дистанційному керуванні ролетами. Така проста конструкція має переваги і недоліки.

Переваги:

- Низька вартість пристрою;
- Простота і швидкість розробки;
- Легко забезпечується тривала робота від батареї.

Недоліки:

- Відсутність можливості роботи за розпорядком;
- Відсутність підтримання сталого рівня освітленості приміщення;
- Відсутність інтеграції з системами «розумного будинку».

Прикладом такої системи є Ikea FYRTUR [3]. Вона зображена на рис.

1.3.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – Ikea FYRTUR

Автоматизовані системи без функціоналу IoT

Такий тип систем має значно ширший функціонал, ніж попередній. В них вже доступна функція створення розпорядку роботи пристрою. Зазвичай, такі системи створюють локальну мережу, до якої користувач може під'єднатися через смартфон та керувати пристроєм.

Розробка таких систем ускладнюється необхідністю створення застосунку на смартфон. Але вона все ще залишається відносно простою, адже не потрібно створювати веб-сайт, який виконує роль серверу.

Тривалу роботу від батареї для таких пристроїв забезпечити все ще просто, адже вони не повинні постійно підтримувати зв'язок із сервером.

Переваги:

- Відносна простота і швидкість розробки;
- Можливість створення розпорядку роботи пристрою;
- Легко забезпечується тривала робота від батареї.

Недоліки:

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Відсутність інтеграції з системами «розумного будинку»;
- Неможливість об'єднання пристроїв у групи;
- Неможливість віддаленої зміни розпорядку роботи пристрою.

Прикладом такої системи є Soma Smart Shades [4]. Вона зображена на рис. 1.4.

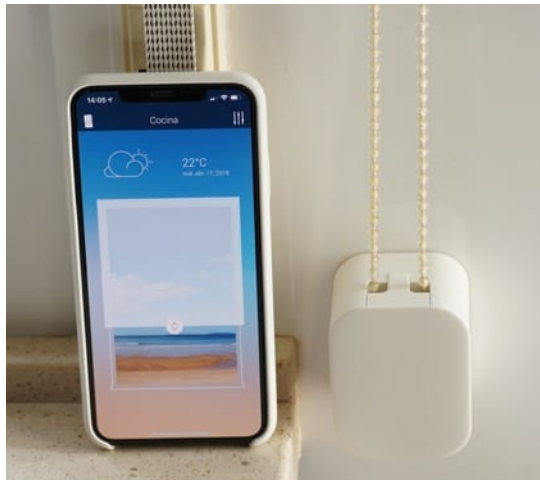


Рисунок 1.4 – Soma Smart Shades

Автоматизовані системи з функціоналом IoT

Такий тип систем забезпечує максимальну функціональність. Вони підтримують постійний зв'язок із веб-сервером щоб максимально швидко змінювати режим роботи, як того хоче користувач. Зміна їх розпорядку доступна із будь-якого місця, адже всі налаштування зберігаються на сервері.

Такі системи обов'язково мають мати функціонал об'єднання кількох пристроїв у групу зі спільними налаштуваннями і можливістю синхронної роботи. Також, обов'язковою вимогою є інтеграція з принаймні одним із найпопулярніших систем контролю розумного будинку: Apple Home, Google Home, Amazon Alexa.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розробка систем такого типу є найскладнішим завданням, адже окрім програми контролю самого пристрою та застосунку на смартфон, необхідно розробити ще веб-сервер і забезпечити інтеграцію із системами розумного будинку.

Забезпечення тривалої роботи від батареї для систем такого типу є нетривіальним завданням, адже вони повинні тримати постійний зв'язок із веб-сервером. Для вирішення цієї проблеми часто виробники розділюють пристрій на дві частини: інтернет-хаб та власне, сам пристрій. Інтернет-хаб живиться від мережі та підтримує постійне з'єднання із веб-сервером. Сам пристрій більшу частину часу знаходиться у режимі сну. Зв'язок між двома пристроями відбувається за допомогою радіо-протоколу із функцією пробудження по отриманню певної команди. Як тільки користувач надсилає команду щось зробити із застосунку на смартфоні, інтернет-хаб зчитує її з серверу, пробуджує пристрій за допомогою радіо-протоколу, а сам пристрій виконує команду і надсилає у відповідь звіт про виконання.

Переваги:

- Інтеграція з системами розумного будинку;
- Можливість об'єднання кількох пристроїв у групи;
- Можливість віддаленої зміни розпорядку роботи пристрою;
- Можливість додавати новий функціонал, завантажуючи на пристрої прошивку із веб-сервера.

Недоліки:

- Найвища складність та тривалість розробки;
- Складність забезпечення тривалої роботи від батареї;

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Висока вартість готового виробу.

Прикладом такої системи є AutoShades [5]. Вона зображена на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – AutoShades

Висновок до розділу

Для реалізації функціоналу автоматичного підтримання сталого рівня освітленості приміщення, система повинна мати зворотній зв'язок. Він забезпечується сенсором освітленості. На основі даних з нього, PID – регулятор встановлює ролети на певній висоті. Щоб прибрати шуми із сигналу сенсора освітленості, його необхідно пропустити через ФНЧ. Головною вимогою до фільтра є мінімальна пульсація сигналу у полосі пропускання. Таким вимогам відповідає цифровий фільтр Баттерворта.

Розроблювана система має найбільше спільного із типом «автоматизованими системами із функціоналом IoT», представленим моделлю AutoShades. Але наведені аналоги не мають функціоналу автоматичного підтримання сталого рівня освітленості в приміщенні. Тому наведена розробка є актуальною.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми пристрою

Структурна схема системи автоматизованого керування віконними ролетами наведена на рис. 2.1.

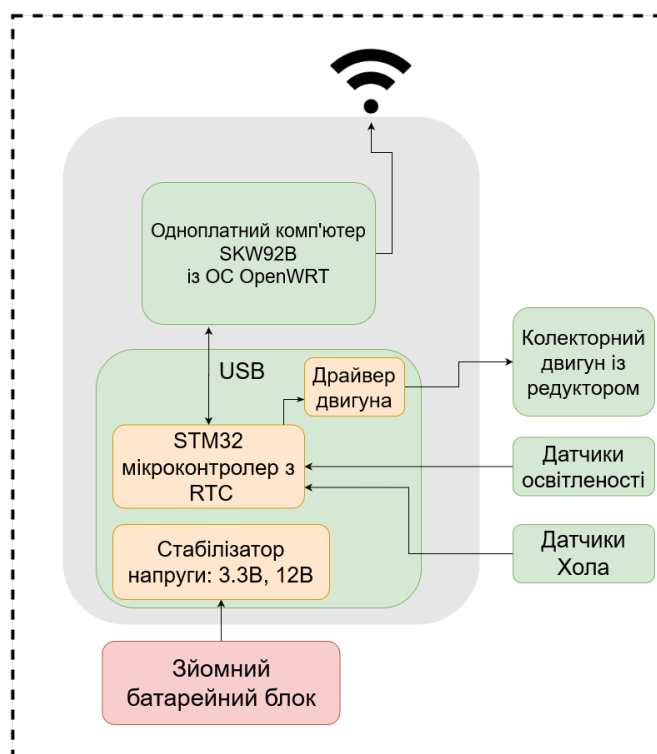


Рисунок 2.1 – Структурна схема розроблюваного пристрою

Система являє собою плату керування віконними тканинними ролетами, які приводяться в рух електродвигуном, під'єднаним до плати керування. З'єднання системи з глобальною мережею відбувається по протоколу Wi-Fi. Цю можливість забезпечує впаюваний модуль одноплатного комп'ютера Skylab SKW92-B, що працює під керуванням ОС OpenWRT. Він з'єднується із мікроконтролером STM32 за допомогою інтерфейсу USB. Мікроконтролер зчитує дані з датчиків Хола, сенсорів освітленості та, на основі отриманих даних, керує роботою електродвигуна за допомогою мікросхеми – драйвера.

Для зниження енергоспоживання, система більшу частину часу перебуває у режимі сну. Коли настає пора пробудження – периферія RTC мікроконтролера пробуджує його. Сам мікроконтролер, у свою чергу, запускає комп'ютер, подаючи на нього живлення. Комп'ютер ініціює зв'язок із сервером і завантажує актуальні налаштування системи та розпорядок роботи роlet. Такий підхід значно збільшує час автономної роботи системи, проте виключає можливість керувати системою у реальному часі. Максимальна затримка між зміною розпорядку роботи користувачем та завантаження оновленого розпорядку на пристрій визначається тривалістю між періодичними пробудженнями та складає 10 хвилин. Це є прийнятним обмеженням, бо зазвичай, система конфігурується один раз і потім її налаштування не змінюються.

Живлення системи відбувається за допомогою батарейного блоку. Він має порт місто – USB для зарядки. Максимальний споживаний струм заряду акумулятора підібраний на рівні 2 А, для забезпечення сумісності зі стандартними зарядними пристроями для мобільних телефонів.

2.2 Вибір елементної бази

У цьому розділі наведено обґрунтування вибору конкретних компонентів. Найбільш критичні компоненти обрані за допомогою матричного методу. Для менш важливих компонентів вибір обґрунтований словесно.

Розроблюваний пристрій складається із таких складових, які мають бути обрані:

- мікроконтролер;
- одноплатний комп'ютер з інтерфейсом Wi-Fi;
- стабілізатори напруги на 3.3, 5 та 12 В;

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зйомного батарейного блоку;
- драйвера колекторних двигунів;
- колекторного двигуна постійного струму із понижуючим редуктором;
- датчиків освітленості всередині приміщення;
- датчиків Хола.

Мікроконтролер

Мікроконтролер – це один із ключових компонентів системи. До мікроконтролера виставляються наступні вимоги:

- швидкодія не є критично важливим фактором так як всі операції, що вимагають великих обчислювальних потужностей виконуватиме комп'ютер;
- споживання струму є критичним фактором так як пристрій має батарейне живлення і має працювати кілька місяців;
- наявність периферії RTC та режиму глибокого сну;
- вартість та легкість отримання мікросхем в Україні;
- швидкість розробки, кількість та якість інформації по мікроконтролеру у вільному доступі, розмір активного ком'юніті;
- можливість запустити на мікроконтролері ОС FreeRTOS.

Перш за все, необхідно визначитися із сімейством мікроконтролерів. Цей вибір було просто зробити. Необхідно обрати знайому розробнику архітектуру, використовуючи яку, можна досягти найбільшої швидкості розробки. Тут лідером є сімейство мікроконтролерів STM32, на базі архітектури ARM Cortex, з якими у мене є достатній досвід роботи.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також перевагою STM32 є велика кількість навчальних матеріалів у вільному доступі, їх низька вартість та висока розповсюдженість та доступність в Україні.

Сімейство STM32 об'єднує в собі кілька архітектур: ARM Cortex-M33F, M7F, M4F, M3, M0+, M0. При цьому, сімейство ділиться на безліч серій, в залежності від задач: з максимальною продуктивністю та наявністю DSP – блоків, з ультра-низьким споживанням енергії, з наявною специфічною периферією та просто мікроконтролери загального призначення.

Під всі заявлені вимоги найкраще підходить мікроконтролер STM32F072CBT6. Його максимальна тактова частота складає 48 МГц, чого достатньо для забезпечення необхідної швидкодії. 128 кБайт flash-пам'яті вистачить щоб вмістити код програми, а 16 кБайт RAM-пам'яті дозволять менше обмежувати себе при її розробці в плані оптимізації розміру вихідного коду програми.

На цьому мікроконтролері без проблем можна запустити FreeRTOS із кількома паралельними задачами, щоб у процесі розробки не обмежувати себе через брак пам'яті.

Споживання струму у режимі глибокого сну складає всього 4.7 мкА. Також, головною перевагою конкретно цього мікроконтролера є наявність периферія RTC, що дозволить легко виводити його із режиму сну у необхідні моменти часу.

Одноплатний комп'ютер

Одноплатний комп'ютер відповідає за зв'язок із сервером по Wi-Fi. Він має задовольняти такі вимоги:

- мати вбудований модуль Wi-Fi;
- якнайнижча вартість;

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- доступність в Україні;
- як можна менше споживання струму;
- як можна менший розмір, в ідеалі – виконання у вигляді впаюваного модуля;
- легкість розробки для обраної платформи.

Обирати я буду споміж таких моделей: Raspberry Pi Zero-W, Onion Omega2+, ESP8266, Skylab SKW92B, рис. 2.2.

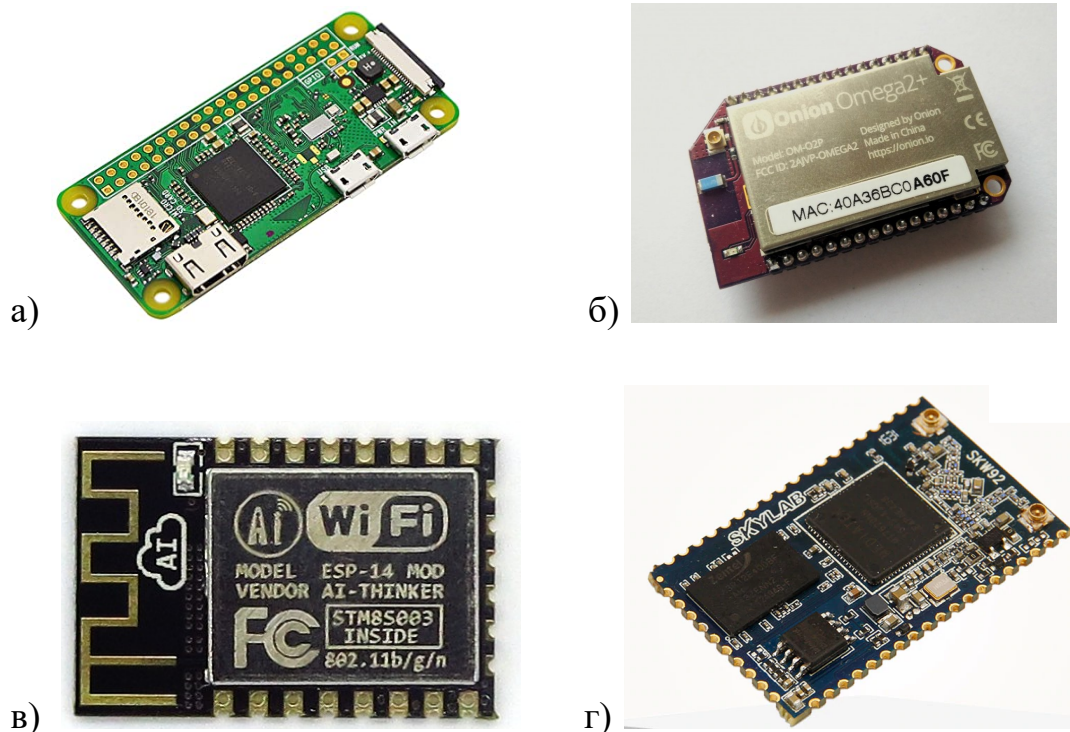


Рисунок 2.2 – Одноплатні комп'ютери, а) Raspberry Pi Zero-W, б) Onion Omega2+, в) ESP8266, г) Skylab SKW92B.

Raspberry Pi Zero-W

Raspberry Pi Zero-W є найменшим варіантом популярного одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, на якому присутній Wi-Fi модуль. Розміри 65 * 30 мм дозволяють без проблем умістити пристрій у корпус пристроя.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Для цієї платформи існує велика кількість зібраних Linux – дистрибутивів, готового ПЗ, документації у вільному доступі. При цьому, популярність платформи забезпечила їй велике ком'юніті – тож знайти необхідну інформацію доволі просто. Максимальне споживання струму платою складає 150 мА. Заявлена роздрібна вартість пристрою складає 10\$.

По сумі всіх показників, Raspberry Pi Zero-W є прийнятним варіантом, але із його доступністю в Україні є проблема. Справа в тому, що офіційно купити модуль можна в трьох інтернет-магазинах. при цьому не більше двох одиниць товару в одному замовленні. Доставка до України коштує 30-40 \$, в залежності від магазину. Ця особливість унеможливорює використання Raspberry Pi Zero-W у якості комп'ютера в розроблюваному пристрої, адже оптове замовлення є неможливим, а замовляти в роздріб – економічно недоцільно [6].

Onion Omega2+

Onion Omega2+ є іншим представником класичних одноплатних комп'ютерів, що працюють під керуванням ОС Linux. На ньому присутній вбудований Wi-Fi модуль. Комп'ютер має розміри 42 * 25 мм, що робить його набагато компактнішим за Raspberry Pi Zero-W.

Кількість наявної документації та прикладів для цієї платформи значно менша, ніж у Raspberry Pi Zero-W. Максимальне споживання струму складає 200 мА. Заявлена роздрібна вартість пристрою складає 13\$ [7].

Проаналізувавши технічні характеристики Onion Omega2+ - можна з впевненістю сказати що його використання є не доцільним. Він має вартість та енергоспоживання вищу, ніж у всіх розглянутих кандидатів. При цьому, платформа не має великого ком'юніті, документації та прикладів у вільному доступі.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ESP8266

ESP8266 – це назва не конкретної моделі, а цілого сімейства пристроїв, побудованих на основі мікросхеми – SoC, що поєднує мікроконтролер і Wi-Fi модуль. Їх особливістю є можливість надати пристрою функціонал Wi-Fi за дуже низьку ціну. Наприклад, модель NodeMcu Lua V3 продається по ціні менше 2\$, включаючи доставку [8]. Фізичні розміри модулю складають всього 25 * 14 мм, що є найкращим результатом. Максимальне споживання струму приладом складає 100 mA.

ESP8266 працює без ОС. Він може працювати у двох режимах роботи. Перший – це міст UART-WiFi, в якому він керується AT – командами стороннього мікроконтролера. При цьому зміна прошивки не потрібна. При другому, ESP8266 самостійно виступає у якості мікроконтролера. Робота у цьому режимі потребує його перепрограмування.

Створення прошивки для роботи у обох режимах – вельми не проста задача. У першому режимі необхідно розбиратися із великою кількістю AT – команд і реалізувати їх підтримку у мікроконтролері. У другому режимі необхідно розібратися з ESP SDK – набором ПЗ, необхідного для програмування ESP – мікроконтролерів. Так як дана платформа є дуже популярною, були створені проєкти, що дозволяють спростити розробку ПЗ для цієї платформи. Найбільш розповсюдженим із них є NodeMCU. Він дозволяє програмувати ESP – мікроконтролер двома способами: за допомогою високорівневої мови Lua, або використовуючи Arduino IDE, на мові C++. Такий спосіб програмування є набагато простішим і значно пришвидшує розробку ПЗ.

При всіх своїх перевагах, ESP8266 має один значний недолік: доволі низька обчислювальна потужність. Під час першого запуску, одноплатний комп'ютер має створити мережу Wi-Fi, у якій буде запущено web-сервер. Так як у ESP8266 всього 1 МБ статичної пам'яті – її буде не достатньо для

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створення web-серверу зі всім необхідним функціоналом. Також при розробці ПЗ необхідно мати запас пам'яті та обчислювальних потужностей щоб зробити можливим подальше розширення та удосконалення функціоналу в майбутньому

Тому, при всіх своїх перевагах, використання ESP8266 у розроблюваному проєкті є недоцільним.

Skylab SKW92-B

Skylab SKW92-B являє собою впаюваний модуль, що працює під керуванням ОС OpenWRT та має вбудований модуль Wi-Fi. Згідно проведених досліджень, модулі з OpenWRT є оптимальним рішенням для забезпечення Wi-Fi з'єднання для пристроїв IoT [9].

Розміри 25 * 40 мм дозволяють легко вмонувати його у корпус ролет. Максимальне споживання струму пристроєм складає 150 мА, що ставить його у один ряд із Raspberry Pi Zero-W. Конструкція модуля, згідно якої він впаюється на ДП є однозначною перевагою та допоможе зекономити місце на ДП. Там, де у випадку використання конкурентів довелося б застосовувати дротове з'єднання, тут можна обійтися друкованим провідником на ДП. Це значно пришвидшує і спрощує збирання готового пристрою та підвищує надійність.

Вартість модуля складає всього 7\$, що набагато дешевше ніж у всіх конкурентів, окрім ESP8266. При цьому, компанія – виробник Skylab напряму продає свою продукцію у онлайн – магазині Aliexpress, що робить замовлення простим, прозорим і безпечним.

Існує готовий дистрибутив OpenWRT для Skylab SKW92-B [10]. Це дозволяє відносно просто та швидко приступити до процесу розробки ПЗ, використовуючи OpenWRT SDK. Великою перевагою цієї платформи – є можливість користуватися високорівневими мовами програмування (Java,

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Python, JavaScript) і наявними у ОС бібліотеками, що реалізують HAL над апаратурою, дозволяючи абстрагуватися від hardware, що використовується. Це значно спрощує та пришвидшує процес розробки ПЗ. Модуль має 32 Мб flash – пам'яті та 64 Мб RAM – пам'яті. Цього достатньо для запуску на платформі web – серверу, необхідного для первинної ініціалізації системи користувачем та розміщення локальної бази даних, у якій зберігається поточний розпорядок роботи системи.

Враховуючи переваги і недоліки всіх перелічених платформ, можна зробити висновок що найкращим варіантом для використання у розроблюваній системі є Skylab SKW92-B.

Стабілізатори напруги на 3.3 В

Вибір стабілізатора напруги на 3.3 В проведено використовуючи матричний метод. Були розглянуті чотири мікросхеми:

- Semtech TS30012;
- Semtech TS30013;
- Diodes Incorporated AP1509;
- Texas Instruments TPS62056.

Розглянуті мікросхеми є понижуючими імпульсними DC-DC перетворювачами, які підтримують напругу на виході незалежно від коливань напруги на вході, у заданих діапазонах.

Мікросхеми порівнюються за такими параметрами:

- максимальний струм навантаження;
- наявність функції “Soft start”, що уникає сильного стрибка струму при перехідних процесах у момент подачі живлення;

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- легкодоступність мікросхеми в Україні;
- ККД у заданому режимі роботи;
- вартість.

Кожному параметру необхідно присвоїти певний ваговий коефіцієнт b_j , в залежності від його важливості для роботи пристрою. Значення та вагові коефіцієнти параметрів обраних мікросхем зведені у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1- Матриця параметрів X

Серія IC	Параметри				
	I _{max} , мА	Soft start	Легкодоступність	ККД, %	Вартість \$
TS30012	2000	1	1	92	1,141
TS30013	3000	1	1	92	1,116
AP1509	2000	0	3	80	0,294
TPS62056	800	1	2	93	0,836
Ваговий коеф. b_j	0,2	0,1	0,2	0,25	0,25

На основі матриці X, створимо матрицю приведених параметрів Y. Якщо більшому значенню параметра, відповідає менша якість – він має бути перерахований за формулою:

$$Y_{ij} = \frac{1}{x_{ij}}, \quad (2.1)$$

де $i = \overline{1, n}$ – кількість обраних IC;

$j = \overline{1, m}$ – кількість параметрів IC, що аналізуються.

Отримано матрицю приведених параметрів Y, таблиця 2.2.

Таблиця 2.2- Матриця приведених параметрів Y

TS30012	2000	1	1	92	0,88
TS30013	3000	1	1	92	0,90
AP1509	2000	0	3	80	3,40
TPS62056	800	1	2	93	1,20
Ваговий коеф. b_j	0,2	0,1	0,2	0,25	0,25

На основі матриці Y, створимо матрицю нормованих параметрів A за формулою:

$$A_{ij} = \frac{\max Y_{ij} - Y_{ij}}{\max Y_{ij}}, \quad (2.2)$$

де $\max Y_{ij}$ – максимальний елемент у стовпчику;

Y_{ij} – значення елемента, який нормується.

Таблиця 2.3- Матриця нормованих параметрів A

TS30012	0,33	0,00	0,67	0,01	0,74
TS30013	0,00	0,00	0,67	0,01	0,74
AP1509	0,33	1,00	0,00	0,14	0,00
TPS62056	0,73	0,00	0,33	0,00	0,65
Ваговий коеф. b_j	0,2	0,1	0,2	0,25	0,25

Порахуємо значення оціночної функції Q для всіх компонентів:

$$Q_i = \sum_{j=1}^m A_j * b_j, \quad (2.3)$$

де b_j – ваговий коефіцієнт.

Значення оціночної функції для всіх компонентів наведено у таблиці

2.4. Кольором виділено найкращий компонент.

Таблиця 2.4- Значення оціночної функції Q

Назва	Q
TS30012	0,25
TS30013	0,21
AP1509	0,20
TPS62056	0,20

Як видно, IC AP1509 та TPS62056 мають однакове значення оціночної функції, але переваги і недоліки кожної із них відрізняються. Простіше кажучи, AP1509 – дешевий, легкодоступніший та примітивніший варіант, а TPS62056 – дорожчий та досконаліший. Так як пристрій належить до категорії користувацької електроніки – дуже важливою є вартість готового виробу. Враховуючи цей фактор, обрано IC AP1509-33 у якості стабілізатора напруги на 3.3 В.

Стабілізатори напруги на 5 В

Стабілізатор напруги на 5 В обрано із тієї ж серії, що і стабілізатор на 3.3 В: AP1509-50.

Стабілізатори напруги на 12 В

Вибір стабілізатора напруги проведено використовуючи матричний метод. Були розглянуті чотири мікросхеми:

- Texas Instruments LM2577;
- Texas Instruments LM2585;
- Texas Instruments LM2587;
- XLSEMI XL6009.

Розглянуті мікросхеми є підвищуючими імпульсними DC-DC перетворювачами, які підтримують напругу на виході незалежно від коливань напруги на вході.

Мікросхеми порівнюються за такими параметрами:

- Максимальний струм навантаження, при $V_{out} = 12\text{ В}$;
- наявність окремого виводу ENABLE;
- ККД у заданому режимі роботи;
- Струм втрат;
- Легкодоступність;
- Вартість.

Таблиця 2.5 – Матриця параметрів X

Серія IC	Параметри					
	I _{out} max, мА у режимі V _{out} =12V	Наявний вивід ENABLE	ККД, %	І втрат, мкА	Доступність	Вартість, \$
LM2577 ADJ	800	0	80	10	3	0,554
LM2585	800	0	93	15	1	2,5
LM2587	1200	0	90	15	3	0,694
XL6009	1000	1	85	70	3	0,475
Ваговий коэф., b _j	0,35	0,05	0,15	0,1	0,15	0,2

Таблиця 2.6 – Матриця приведених параметрів Y

LM2577 ADJ	800	0	80	0,100	3	1,805
LM2585	800	0	93	0,067	1	0,4
LM2587	1200	0	90	0,067	3	1,441
XL6009	1000	1	85	0,014	3	2,105
Ваговий коеф., b_j	0,35	0,05	0,15	0,1	0,15	0,2

Таблиця 2.7 – Матриця нормованих параметрів A

LM2577 ADJ	0,33	1,00	0,14	0,00	0,00	0,14
LM2585	0,33	1,00	0,00	0,33	0,67	0,81
LM2587	0,00	1,00	0,03	0,33	0,00	0,32
XL6009	0,17	0,00	0,09	0,86	0,00	0,00
Ваговий коеф., b_j	0,35	0,05	0,15	0,1	0,15	0,2

Таблиця 2.8- Значення оціночної функції Q

Назва	Q
LM2577 ADJ	0,22
LM2585	0,46
LM2587	0,15
XL6009	0,16

Як видно, оціночні коефіцієнти у IC LM2587 та XL6009 вийшли майже однаковими. LM2587 має вищий ККД та $I_{out\ max}$, але при цьому, вона трохи дорожча і в неї немає окремого виходу ENABLE. Я прийняв рішення обрати LM2587 тому що більш високий ККД призведе до зменшення енергоспоживання приладу.

Зйомний батарейний блок

Для зйомного батарейного блоку необхідно обрати тип використовуваних акумуляторів та мікросхему – контролер заряду – розряду акумуляторів.

У якості акумуляторів я використаю дуже популярне та розповсюджене рішення: Li-Ion акумулятори, виконані у корпусі 18650. Li-Ion акумулятори мають найкраще співвідношення ємності до об'єму, життєвий цикл складає до 1000 циклів заряду-розряду, струм саморозряду є низьким. Форм-фактор акумуляторів 18650 є дуже розповсюдженим та недорогим, для нього легко знайти тримачі акумуляторів та інші аксесуари. Батареї з'єднані за схемою 2S3P, що дає номінальну напругу на виході $3,7 * 2 = 7,4$ В.

Мікросхему – контролер заряду – розряду акумуляторів обрано, використовуючи матричний метод.

Розглянуто п'ять мікросхем–контролерів заряду–розряду двох-баночних Li-Ion акумуляторів:

- Microchip MCP73213;
- Skyworks AAT3663;
- MPS MP2615;
- MPS MP2610;
- Texas Instruments BQ24103.

Розглянуті мікросхеми є підвищуючими імпульсними DC-DC перетворювачами, які підтримують напругу на виході незалежно від коливань напруги на вході. Також вони слідкують за споживаним струмом та поточною напругою батарей та реалізують алгоритм заряду CC-CV [19].

Мікросхеми порівнюються за такими параметрами:

- Максимальний струм заряду;
- Наявність захисту від перегріву акумулятора;

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Наявність виводів для світлодіодної індикації про поточний стан акумулятора;
- Наявність корекції максимальної цільової напруги заряду;
- Легкодоступність;
- Вартість.

Таблиця 2.9 – Матриця параметрів X

Серія IC	Параметри					
	I заряду тах, мА	Захист від перегріву	Кількість виводів на світлодіоди	Легкодоступність	Є вибір макс. напруги заряду	Вартість \$
MCP73213-A6S	1100	0	1	1	0	0,89
AAT3663	1000	1	3	1	0	1,38
MP2615	2000	1	2	2	1	0,7
MP2610	2000	1	2	3	0	0,6
BQ24103	2000	1	3	3	0	0,805
Ваговий коеф	0,3	0,05	0,05	0,3	0,05	0,25

Таблиця 2.10 – Матриця приведених параметрів Y

MCP73213-A6S	1100	0	1	1	0	1,12
AAT3663	1000	1	3	1	0	0,72
MP2615	2000	1	2	2	1	1,43
MP2610	2000	1	2	3	0	1,67
BQ24103	2000	1	3	3	0	1,24
Ваговий коеф	0,3	0,05	0,05	0,3	0,05	0,25

Таблиця 2.11 – Матриця нормованих параметрів А

MCP73213-A6S	0,450	1,000	0,667	0,667	1,000	0,326
AAT3663	0,500	0,000	0,000	0,667	1,000	0,565
MP2615	0,000	0,000	0,333	0,333	0,000	0,143
MP2610	0,000	0,000	0,333	0,000	1,000	0,000
BQ24103	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,255
Ваговий коеф	0,3	0,05	0,05	0,3	0,05	0,25

Таблиця 2.12- Значення оціночної функції Q

Серія IC	Q
MCP73213-A6S	0,55
AAT3663	0,54
MP2615	0,15
MP2610	0,07
BQ24103	0,11

Згідно проведеного аналізу, перемогла IC MP2610. Проте, було обрано мікросхему, що показала трохи гірший результат: BQ24103. Причиною цього є більш висока розповсюдженість MP2610 та наявність у виробника документа, де розповідається як правильно використовувати цю мікросхему, коли її живлення береться із USB-порта. А саме такий тип джерела живлення використаний у моєму приладі.

IC – драйвер колекторних двигунів постійного струму

У якості драйвера двигунів я використав мікросхему Toshiba TB6612FNG. Це двох-канальний H-міст, розрахований на 1.2 А постійного струму навантаження на кожен із каналів. У мікросхемі є захист від КЗ по виходу та від заклинювання мотора (при якому струм навантаження різко зростає). Мікросхема дозволяє змінювати напрямок на швидкість обертання

двигуна. Контроль швидкості відбувається за допомогою подання ШІМ – сигналу на вхід ENABLE драйвера.

Мікросхема є дуже популярною і розповсюдженою. Її вартість складає близько 1\$ за штуку.

Колекторний двигун постійного струму із понижуючим редуктором

При виборі двигуна був вибір між використанням крокового двигуна і колекторного двигуна постійного струму.

Великою перевагою крокового двигуна є можливість рухати його на чітко визначену кількість обертів не використовуючи зворотній зв'язок з поточним положенням вала. Також такі двигуни мають високий крутний момент при невеликих розмірах. Але, їх використання у проєкті є недоцільним через високу вартість як самих крокових двигунів, там і мікросхем – драйверів для них.

Тому було прийняте рішення використати колекторний двигун. При використанні колекторних двигунів обов'язково необхідно обладнати систему зворотнім зв'язком, щоб контролер розумів коли штора опустилася або піднялася у крайнє положення. Для цього використані датчик Хола та закріплені у крайніх верхній та нижній точках штори маленькі магніти. Колекторні двигуни постійного струму мають дуже низький крутний момент на малих обертах. Тому, для його підвищення, використано понижуючий редуктор. Швидкість обертання вала після редуктора складає 56 обертів за хвилину при подачі на двигун напруги 12 В. Обраний двигун із редуктором зображено на рисунку 2.3.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

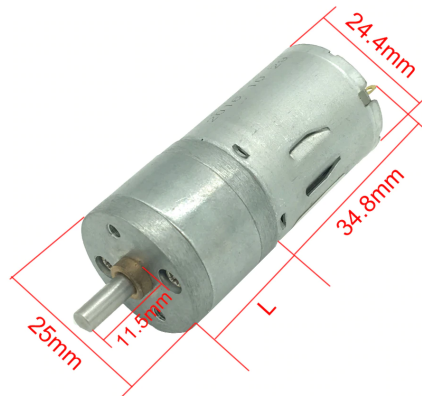


Рисунок 2.3 – Колекторний двигун постійного струму із понижуючим редуктором

Сенсор освітленості

У якості сенсора освітленості обрано звичайний фоторезистор. Для підтримання сталого рівня освітленості не потрібна висока точність. При цьому для отримання адекватніших даних, використано два сенсори, що розташовані з протилежних боків корпусу пристрою. Обраний сенсор зображено на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Сенсор освітленості

Датчик Хола

Датчик Хола необхідний для отримання зворотнього зв'язку про поточне положення штори. На крайніх верхньому та нижньому краях штори закріплено маленькі неодимові магніти. При проходженні магніта, датчик Хола змінює логічний рівень на виході. Мікроконтролер виявляє цю зміну і приймає рішення зупинити двигун.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Було обрано Allegro A3144 – дуже розповсюджений, дешевий і доступний цифровий датчик Хола. У датчика є недолік: його споживання струму складає близько 5 мА. Якщо залишати його ввімкненим – це призводитиме до швидшого розряду батареї. Тому прийняте рішення комутувати живлення датчика n-канальним MOSFET-транзистором FDV301N, який керується мікроконтролером. Тоді датчик буде активним лише під час роботи двигуна, а весь інший час знаходитиметься у вимкненому стані.

2.3 Розробка схеми електричної принципової

При розробці схеми електричної принципової необхідно приділити увагу таким її модулям:

- живлення пристрою (12 В, 5 В, 3.3 В);
- схема контролю заряду акумулятора;
- вмикання та вимикання SKW92B;
- вмикання та вимикання датчика Хола;
- блок power-on-reset для STM32;

Живлення пристрою

Для роботи пристрою необхідно передбачити у схемі три напруги живлення: 12 В, 5 В, 3.3 В. Кожна із них буде розглянута окремо.

Живлення 3.3 В

Від напруги 3.3 В живляться мікроконтролер STM32 та SKW92-B. Максимальний піковий струм навантаження дорівнює загальному споживанню STM32 та SKW92B у моменти передачі даних по Wi-Fi. Згідно даташиту на SKW92B, максимальний піковий імпульсний споживаний струм

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дорівнює 500 мА [11]. Максимальним струмом споживання STM32 (десятки мА) знехтуємо.

Обраний імпульсний DC – DC перетворювач AP1509-33 може забезпечувати струм навантаження до 2 А – тому без проблем справиться із поставленим завданням.

Живлення 5 В

Напруга 5 В забезпечує живлення датчика Хола та виступає напругою живлення для лінії USB. Максимальний струм споживання задається максимальним струмом навантаження протоколу USB2.0. Він дорівнює 500 мА.

Максимальний струм навантаження DC – DC перетворювача AP1509-50 складає 1.5 А – тому він без проблем справиться із поставленим завданням.

Живлення 12 В для заряду акумулятора

Для заряду акумулятора до напруги 8.4 В, на вхід мікросхеми – контролера заряду необхідно подати напругу, вищу за цільову. Було обрано напругу 12 В, як розповсюджений варіант. Максимальний струм споживання на цій лінії може бути розрахований за формулою:

$$I_{12V} = \frac{V_{charge} * I_{charge}}{12} = \frac{8.4 * 1.2}{12} = 0.84 \text{ A}, \quad (2.4)$$

де I_{12V} – максимальний струм навантаження на лінії 12 В, А;

V_{charge} – максимальна напруга акумулятора, $V_{charge} = 8.4 \text{ В}$;

I_{charge} – максимальний струм заряду, $I_{charge} = 1.2 \text{ А}$.

Максимальний струм імпульсного DC – DC перетворювача MT3608 складає 2 А [13]. Але в перспективі може виникнути потреба збільшити

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струм заряду акумуляторів. Для цього передбачено можливість встановлення паралельно першій мікросхемі, ще однієї, резервної. Таке схемотехнічне рішення дозволяється розробниками ІС, про що сказано у даташиті [13].

Мікросхема для свого функціонування потребує діод Шотткі у обв'язці. Було обрано VISHAY SS34 із максимальним прямим струмом 3А.

Живлення 12 В для драйвера двигуна

Обраний колекторний двигун постійного струму працює від напруги 12 В, яку має комутувати драйвер. Максимальний струм споживання двигуна складає 1 А.

Максимальний струм навантаження DC – DC перетворювача LM2587-ADJ складає 1.2 А при напрузі 12 В на виході [14].

На лінію вихідної напруги рекомендують ставити електролітичний конденсатор ємністю 3000 мкФ. Але було прийнято рішення замінити його на три конденсатори, кожний по 1000 мкФ для підвищення надійності приладу [18].

LM2587-ADJ для свого функціонування потребує діод Шоткі у обв'язці. Було обрано VISHAY SS34, як варіант який уже використовується у схемі.

LM2587-ADJ може налаштовуватися для отримання різної вихідної напруги за допомогою подільника напруги із двох резисторів. Резистори R16, R17 номіналами 18 кОм та 2 кОм утворюють цей подільник.

Для роботи використаних DC-DC перетворювачів, у обв'язці приладу необхідна котушка індуктивності. Були обрані котушки у однаковому SMD – корпусі, з максимальним прямим струмом 2 А. Номінали індуктивності бралися із даташитів на DC-DC перетворювачі.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування конденсаторів для поліпшення роботи DC-DC перетворювачів

Імпульсні перетворювачі напруги у ході роботи генерують високочастотні завади, які негативно впливають на якість роботи інших компонентів. Через це, на лінії вихідної напруги необхідно встановлювати керамічний конденсатор малої ємності.

На лінію вхідної напруги DC-DC перетворювачів також рекомендується встановлювати керамічні конденсатори малої ємності. Це допоможе відфільтрувати високочастотні завади, які можуть міститися у сигналі вхідної напруги та негативно впливати на роботу самого DC-DC перетворювача.

У якості фільтрів високочастотних завад було вирішено використати керамічні конденсатори у корпусі 0805, ємністю 100 нФ, з діелектриком XR7.

У ході роботи електроніки, можливі короточасні різкі збільшення струму навантаження. Зазвичай причиною таких явищ є перезаряд ємностей. Як наслідок, стають можливими короточасні просадки напруги живлення. Для запобігання цьому явищу, необхідно встановлювати електролітичні конденсатори великої ємності на вході та виході мікросхем. Такий підхід застосовано для всіх DC-DC перетворювачів, наявних у схемі. Необхідні номінали конденсаторів були взяті з даташитів на мікросхеми. Задля зменшення номенклатури використовуваних компонентів, номінали конденсаторів могли бути змінені на ті, що вже були використані у схемі приладу

Схема контролю заряду акумулятора

Li-Ion акумулятори необхідно заряджати за спеціальним алгоритмом, що має назву CC/CV (constant current / constant voltage) [19]. Його суть полягає у розділі процесу заряду на два етапи: обмеження струму та

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обмеження напруги. Під час першого етапу зарядний пристрій обмежує максимальний струм заряду певним значенням, при цьому напруга на акумуляторі поступово зростає. Під час другого етапу, напруга на акумуляторі досягає максимального значення і перестає зростати. При цьому, струм заряду починає плавно зменшуватися. Графік заряду Li-Ion акумулятора за цим алгоритмом наведено на рис. 2.5.

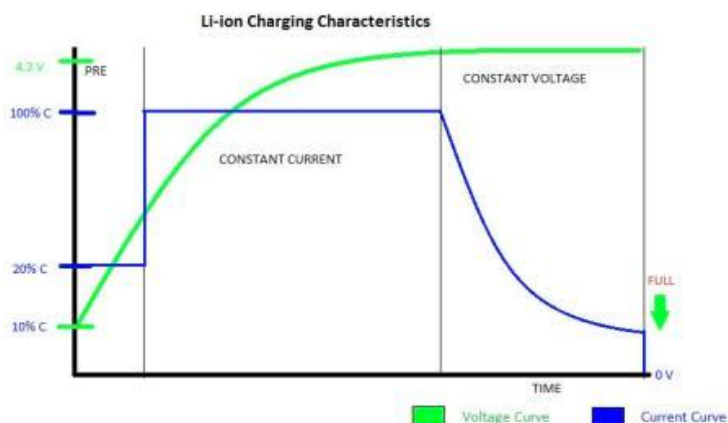


Рисунок 2.5 – Графік заряду Li-Ion акумулятора за алгоритмом CC-CV

Також дуже важливою функцією контролера заряду є наявність т. зв. режиму “precharging”. Якщо напруга на Li-Ion акумуляторі впала нижче 2.5 В – його не можна заряджати звичайним струмом, це призведе до деградації акумулятора та погіршення його характеристик. Замість цього, необхідно довести напругу на ньому до 2.5 В, заряджаючи акумулятор струмом близько 100 мА. Після доведення напруги на акумуляторі до 2.5 В – можна застосувати звичайний алгоритм CC-CV.

Обрана мікросхема контролер заряду – розряду Li-Ion акумуляторів BQ24103 підтримує весь необхідний функціонал. Для отримання на акумуляторі напруги 8.4 В, у якості живлення мікросхеми необхідно подати вищу напругу, у моєму випадку 12 В.

Для індикації процесу заряду та можливих помилок, що виникли у ході роботи пристрою, присутні три світлодіоди. Їх необхідно підключати через резистори. Номінали резисторів можуть бути розраховані за формулою:

$$R = \frac{U_{\text{жив}} - U_{\text{діода}}}{I_{\text{діода}}}, \quad (2.5)$$

де $U_{\text{жив}}$ – напруга живлення, В;

$U_{\text{діода}}$ – напруга прямого зміщення діода, В;

$I_{\text{діода}}$ – прямий струм через діод при заданій $U_{\text{діода}}$, А.

Для індикації застосую світлодіоди трьох кольорів: червоний, зелений та синій. Їх прямі струми та напруги прямого зміщення наведені у таблиці 2.13:

Таблиця 2.13 – Напруги зміщення та прямі струми світлодіодів

Колір	Напруга пр. зміщення, В	Прямий струм, мА
Червоний	1.8	20
Зелений	2.5	20
Синій	3	20

Маючи необхідні параметри, розрахуємо необхідні номінали резисторів:

$$R_{\text{червоний}} = \frac{12 - 1.8}{20 * 10^{-3}} = 510 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{зелений}} = \frac{12 - 2.5}{20 * 10^{-3}} = 475 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{синій}} = \frac{12 - 3}{20 * 10^{-3}} = 450 \text{ Ом}$$

Для зеленого та синього застосуємо резистор зі стандартним опором із ряду E24 : 470 Ом.

Контролер має функціонал захисту від перегріву акумулятора. Для цього на акумулятор необхідно встановити термістор, який під'єднати до нижнього плеча подільника напруги. Використано термістор Semitec AT103 з опором 10 кОм. Подільник напруги складено із резисторів на 9.31 та 442 кОм, як вказано у даташиті.

Задля зменшення пульсацій напруги, на виході мікросхеми встановлено електролітичний конденсатор 10 мкФ та керамічний 100 нФ для приглушення високочастотних завад.

У якості датчика поточного струму заряду використано резистор із малим опором R14. Його номінал може бути розрахований за формулою:

$$R = \frac{V}{I}, \quad (2.6)$$

де R – необхідний опір резистора, Ом;

V – напруга, яка має падати на резисторі (із документації [22] беремо значення 100 – 200 мВ), В;

I – струм заряду акумулятора.

Тоді маємо значення резистора R14:

$$R_{14} = \frac{150 * 10^{-3}}{1.2} = 0.125 \text{ Ом}$$

Візьмемо найближчий резистор зі стандартним номіналом 0.1 Ом, що дасть падіння напруги на резисторі 0.12 В, що задовольняє вимогам.

Максимальний струм заряду акумулятора задається резисторами R9 та R10. Для задання необхідного струму заряду, номінали цих резисторів мають бути по 7.5 кОм.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема ввімкнення та вимкнення SKW92-B

Згідно алгоритму роботи пристрою, STM32 має більшу частину часу знаходитися у режимі глибокого сну, періодично пробуджуватися за допомогою периферії RTC та вмикати SKW92-B, який, в свою чергу, зв'язується з сервером та синхронізує БД. Після завершення всіх процедур, STM32 вимикає SKW92-B та повертається у режим сну.

Керування описаним процесом було вирішено реалізувати шляхом комутування лінії живлення 3.3 В SKW92-B. Живлення на плату проходить через р-канальний MOSFET PMV65XP. Керується затвор транзистора GPIO-виводом мікроконтролера PA13.

Активний рівень затвора (при якому живлення подається) – логічний нуль. Забезпечено підтяжку затвора до логічної одиниці резистором 18 кОм для уникнення небажаного ввімкнення живлення поки тривають перехідні процеси у мікроконтролері. Послідовно із затвором ввімкнено резистор 10 Ом для зменшення струму, який буде протікати протягом перезаряду паразитної ємності затвора.

Для зменшення пульсацій напруги встановлено електролітичний конденсатор 10 мкФ. Для зменшення впливу високочастотних завад, встановлено керамічний конденсатор 100 нФ.

Схема ввімкнення та вимкнення сенсора Хола

Датчик Хола А3144 у процесі роботи споживає близько 5 мА струму. Якщо він буде працювати постійно – це негативно вплине на час роботи пристрою від акумулятора. Тому його необхідно вмикати лише за потреби, а потім – вимикати.

Для реалізації цього процесу було вирішено використати спосіб, аналогічний схемі ввімкнення та вимкнення SKW92-B. Відмінністю є те, що

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

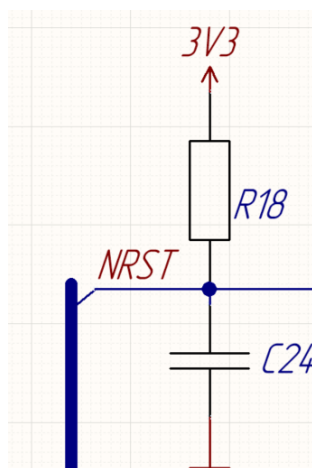
використано n-канальний MOSFET FDV301N – отже, комутується не лінія живлення, а лінія GND. Керування транзистором відбувається GPIO-виводом мікроконтролера PB9.

Виконана підтяжка затвора транзистора до логічного нуля резистором 18 кОм для уникнення небажаного ввімкнення живлення протягом перехідних процесів у мікроконтролері. Послідовно до затвору встановлено резистор з опором 10 Ом для зменшення струму, який буде протікати протягом перезаряду паразитної ємності затвора.

Блок power-on-reset для STM32

Після подання напруги живлення на мікроконтролер, певний час у ньому відбуваються перехідні процеси. Після їх завершення внутрішні тригери мікроконтролера зберігають випадковий логічний рівень. Для коректної роботи мікроконтролера, він має бути скинутий за допомогою вивода NRST після завершення перехідних процесів.

Згідно даташита, максимально довга тривалість перехідних процесів у обраному мікроконтролері складає 4.5 мс. Необхідно забезпечити скидання мікроконтролера через час із певним запасом, візьмемо 10 мс. Для цього застосовано схему power-on-reset на основі RC-ланцюжка. Її наведено на рис. 2.6.



					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Рисунок 2.6 - Схема power-on-reset на базі RC-ланцюжка

Після подачі живлення, певний час конденсатор буде заряджатися через резистор R18. Протягом цього часу, напруга на виводі NRST дорівнюватиме нулю, тобто мікроконтролер буде зкинута у початковий стан. Коли конденсатор C24 повністю зарядиться – напруга на виводі NRST складатиме V_{cc} , тобто процес скидання завершиться.

Відома пропорція, що пов'язує параметри RC-ланцюжка із часом його заряду:

$$U_C(5\tau) = 0.98 * V_{cc}, \quad (2.7)$$

де U_C – напруга на конденсаторі, В;

V_{cc} - напруга живлення, В;

τ – стала часу RC-ланцюжка, $\tau = R * C$.

Необхідний час повного заряду RC-ланцюжка складає 10 мс. Маємо пропорцію:

$$5\tau = 10\text{мс} \rightarrow \tau = 2 * 10^{-3}\text{с}$$

Оберемо номінал конденсатора з-поміж уже наявних у проєкті, $C = 10$ нФ. Тоді маємо:

$$\tau = RC \rightarrow R = \frac{\tau}{C}$$

$$R = \frac{2 * 10^{-3}}{10 * 10^{-9}} = 2 * 10^5 = 200 \text{ кОм}$$

Отримані значення необхідно перевірити за допомогою симуляції. Для цього застосовано програму LTSpice. Електричне коло для симуляції зображене на рис. 2.7.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

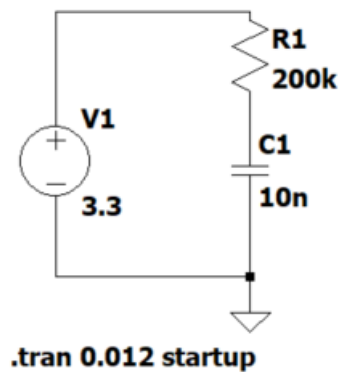


Рисунок 2.7 – Електричне коло для симуляції блоку power on reset

Результати симуляції зображені на рис. 2.8. Програма – симулятор у нульовий момент часу перемикає напругу джерела із 0 В у 3.3 В. Напруга на конденсаторі, куди має під'єднуватися вивід NRST мікроконтролера зображена на графіку.

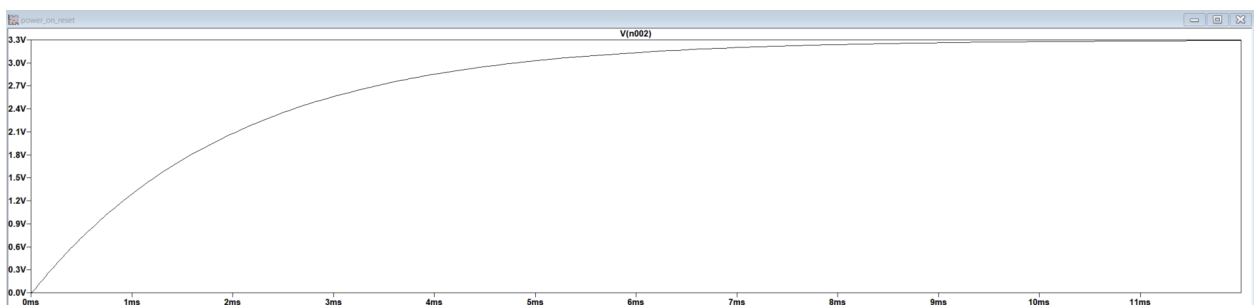


Рисунок 2.8 – Результати симуляції схеми power on reset

З графіку видно, що напруга на конденсаторі набуде значення 3.3 В приблизно через 10 мс, а, отже, розрахунки проведені вірно.

Висновок до розділу

У цьому розділі був проведений аналіз доступної компонентної бази та вибрані компоненти, які найбільше підходять для використання у розроблюваному проєкті.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Обрані комп'ютер Skylab SKW92-B та мікроконтролер STM32F072CBT6 мають найбільш оптимальне співвідношення вартості, споживаного струму та обчислювальної здатності. Вони дозволяють проводити модифікацію системи та додавати новий функціонал, завантажуючи прошивку із web-серверу.

Плата дозволяє керувати двома двигунами постійного струму із напругою живлення 12 В та максимальним споживаним струмом 1.2 А. Драйвер двигуна дозволяє змінювати його напрямок та швидкість обертання.

Також великий акцент зроблено на документацію на компоненти та наявність прикладів застосування компонента для конкретної задачі.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. РОЗМІЩЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ДРУКОВАНІЙ ПЛАТІ

При вирішенні задачі розміщення конструктивних елементів використано схему електричну принципову (ДК61.421455.001 ЕЗ), яка описана матрицею зв'язків А і дискретний монтажний простір, що описаний матрицею відстаней D.

Задля вирішення задачі розміщення конструктивних компонентів, необхідно на кожне вакантне місце монтажного простору розмістити конструктивний компонент таким чином, щоб функція розміщення була оптимальною.

У якості критеріїв оптимальності використано наступні критерії:

- Мінімальна сумарна довжина всіх з'єднань, тобто всі друковані провідники мають бути якомога коротшими;
- Мінімізація числа довгих з'єднань;
- Якомога ближче взаємне розміщення конструктивних компонентів, що мають найбільшу кількість взаємних зв'язків.

При вирішенні задачі розміщення компонентів були вилучені наступні конструктивні компоненти (зادля спрощення розрахунків): резистори, конденсатори, діоди, плавкі запобіжники, термістор, кнопка, роз'єми з одним виводом, транзистори, світлодіоди, кварцовий резонатор.

Роз'єми з кількома виводами, мікросхеми, мікроконтролер та комп'ютер мають бути розміщені у визначених місцях згідно ТЗ, а саме:

- роз'єми – на шарі top ДП, з боків, роз'єми для двигуна та зарядки з лівого боку, а роз'єм XS6 та роз'єм для датчика Хола – з правого;
- мікроконтролер – на шарі top ДП, в центрі;

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- комп'ютер – на шарі bottom ДП, під мікроконтролером, для забезпечення найменшої довжини диференційної пари лінії даних USB.

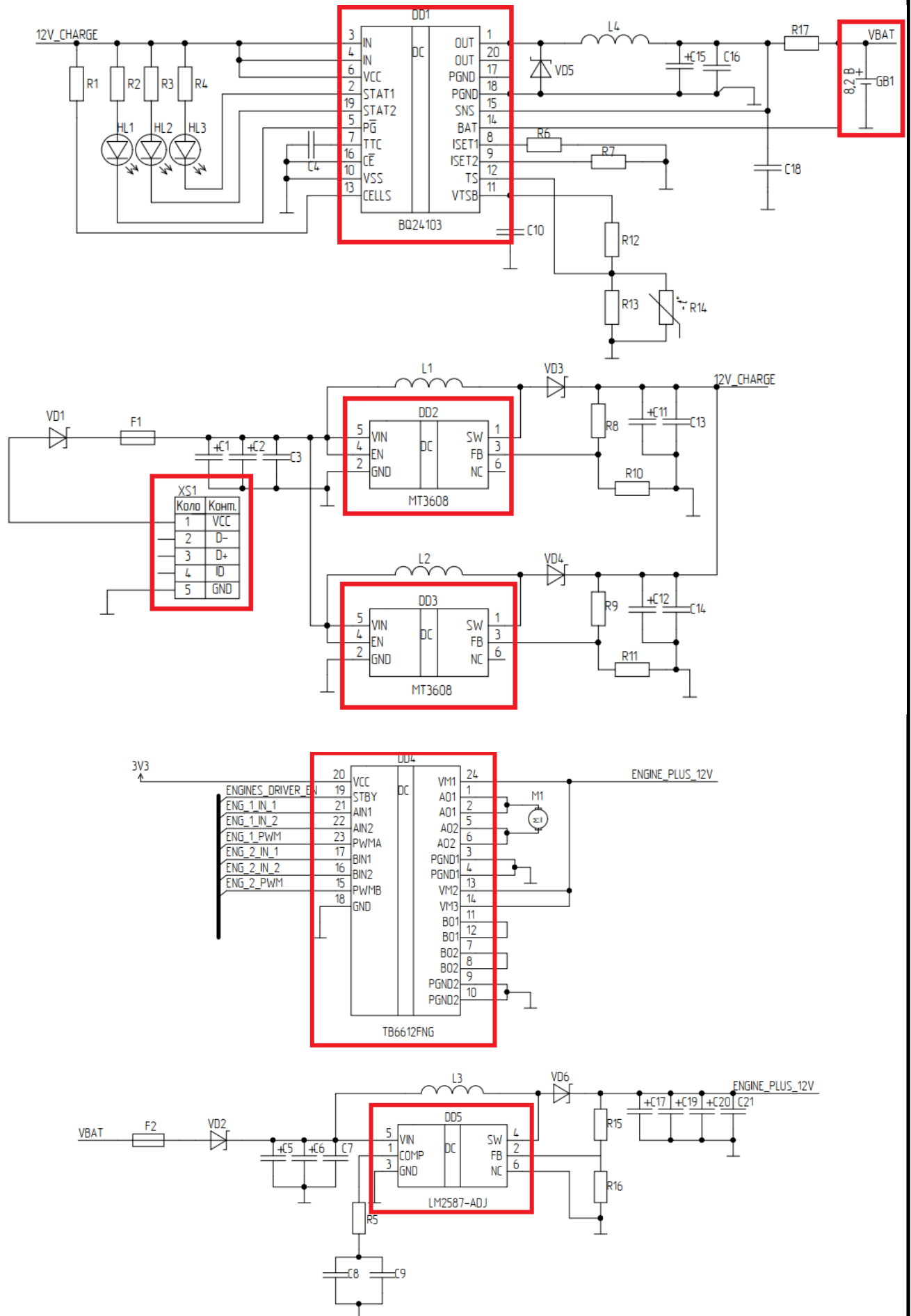
Так як комп'ютер – єдиний компонент, що розташовується на шарі bottom ДП – його можна не розглядати у процесі розміщення компонентів, бо його можна розмістити будь-де на монтажному просторі шару bottom.

Отже, маємо множину конструктивних компонентів, що містить 12 елементів (сюди не внесені виключені компоненти):

$$X = \{DD1 \dots DD9, XS1, XS6, M1, GB1\}$$

Із неї компоненти $XS1, XS6, DD7, DD9, M1, GB1$ мають розташовуватися на місцях, визначених у ТЗ. На рис. 3.1 обведені компоненти, які необхідно розмістити.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



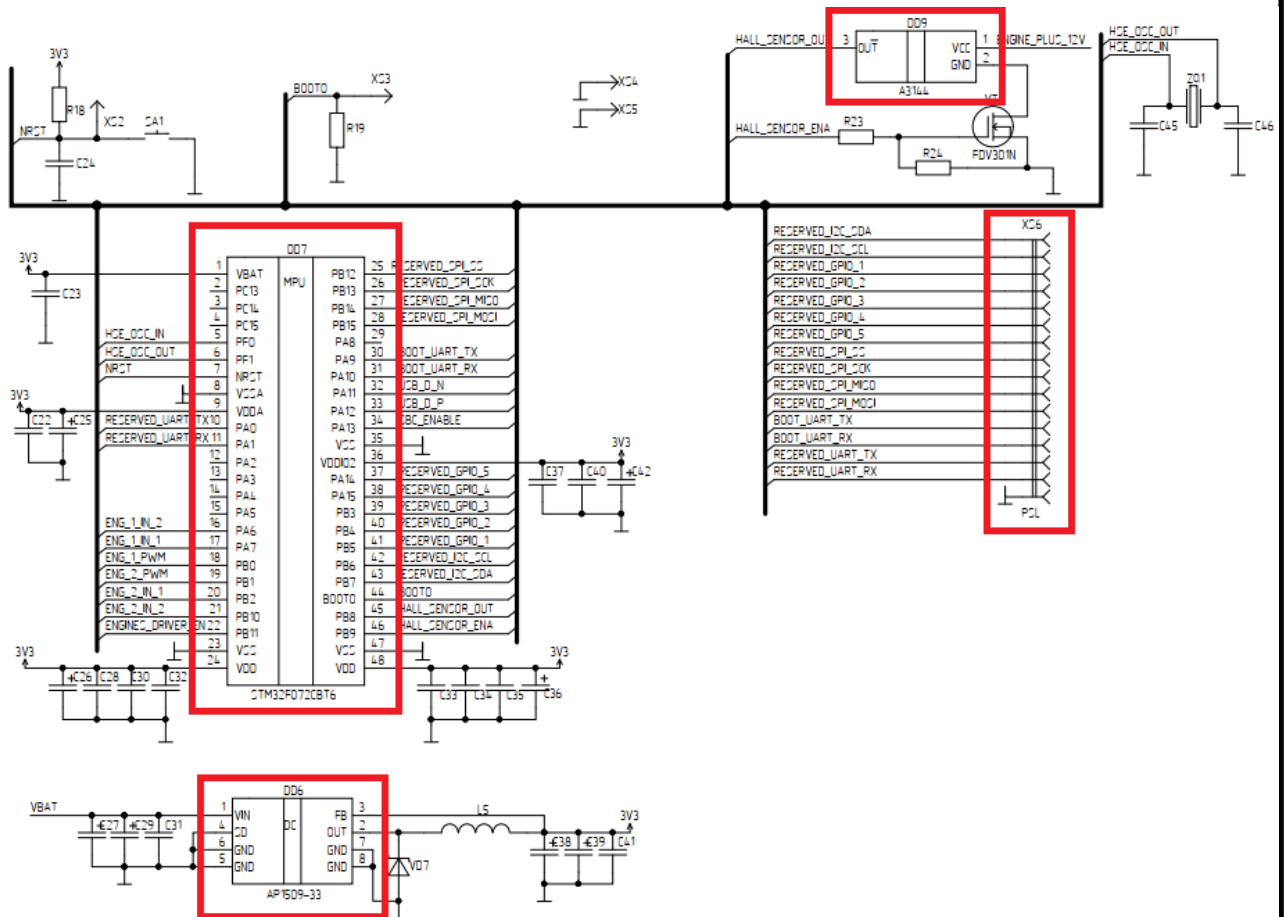


Рисунок 3.1 – Компоненти, які необхідно розмістити

Маємо множину посадкових майданчиків, 4*4 сегменти:

$$P = \{p1, p2, p3, \dots p16\}$$

Спочатку необхідно розмістити компоненти, розташування яких визначається ТЗ. Роз'єм для двигуна M1, роз'єм батареї GB1 та роз'єм для зарядки XS1 розміщено зліва, мікроконтролер DD7 розміщено в центрі, резервний роз'єм XS6 та роз'єм для датчика Хола DD9 розміщені зліва ДП, рис. 3.2.

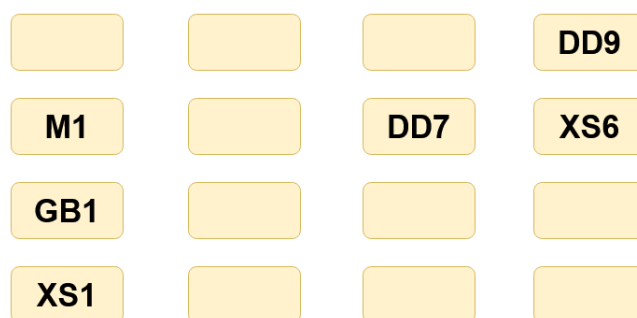


Рисунок 3.2 – Початкове розміщення компонентів, згідно ТЗ

Маючи початкове розміщення компонентів, можна розмістити компоненти, що залишилися. *DD2* та *DD3* розміщено поряд з *XS1*, бо ці мікросхеми підвищують напругу з USB-входу. *DD1* розміщено поряд з *DD2* та *DD3* та якомога ближче до *GB1*. *DD5* підвищує напругу батареї – тому його розміщено якомога ближче до роз'єму батареї *GB1*. *DD4* має найбільшу зв'язність з мікроконтролером та має розташовуватися біля роз'ємом для двигуна, а також працює із напругою виходу *DD5* – тому його розміщено над цими компонентами. *DD6* забезпечує напругу 3.3 В для живлення мікроконтролера і комп'ютера та має бути розміщений якомога ближче до роз'єму батареї *GB1* та до мікроконтролера *DD7*.

Фінальний варіант розміщення компонентів наведений на рис. 3.3.

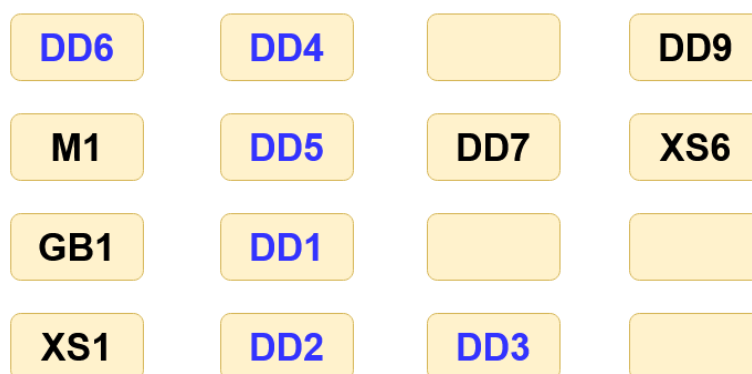


Рисунок 3.3 – Остаточне розміщення компонентів на ДП

Висновок до розділу

У цьому розділі було виконано розміщення конструктивних компонентів на монтажному просторі ДП. Для вирішення поставленої задачі була проаналізована та спрощена схема електрична принципова. Для спрощення були застосовані наступні кроки:

- Ігнорування компонентів з двома виводами;
- В першу чергу розміщені роз'єми, мікроконтролер та комп'ютер на місця, визначені заздалегідь.

Проаналізувавши спрощену схему електричну принципову, розподілено елементи на монтажному просторі ДП. Завдяки зменшенню довжини ліній зв'язку, компактному та рівномірному розташуванню елементів, були зменшені габаритні розміри, маса та вартість виготовлення друкованого вузлу, а також підвищена надійність, завадостійкість та температурна стабільність приладу.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

4.1. Вибір та обґрунтування типу друкованої плати

Друкована плата використовується для реалізації електричних з'єднань між компонентами та являє собою діелектричну основу на одній стороні або обох сторонах якої розташовуються конструктивні елементи та елементи друкованого монтажу: друковані провідники, контактні майданчики, металізовані монтажні отвори.

Друковані плати за своєю конструкцією поділяють на наступні класи:

- ОДП – одношарові друковані плати;
- ДДП – двошарові друковані плати;
- БДП – багатошарові друковані плати.

У випадку ОДП всі електронні компоненти розташовані на одному шарі діелектричної основи, а на іншій стороні розташовані елементи друкованого монтажу, які реалізують електричне з'єднання між компонентами. Вони є найпростішими у проєктуванні та виготовленні, але їх монтажні і трасувальні можливості є найнижчими. Електрична надійність та механічна міцність кріплення компонентів у таких платах також є низькою. Через це ОДП можуть використовуватися лише у випадку проєктування найпростіших пристроїв, до яких немає особливих вимог щодо їх масо-габаритних розмірів та електричних параметрів.

ДДП мають друковані провідники з обох сторін діелектричної основи. Електронні компоненти також можуть монтуватися з обох сторін. Вони мають високу щільність монтажу та підвищену надійність з'єднань. Також за рахунок підвищеної щільності монтажу та більших можливостей при трасуванні з'єднань дозволяють значною мірою зменшити масо-габаритні параметри ДП. Мають високу електричну надійність та механічну міцність з'єднань на кріплення компонентів. Допускають монтаж компонентів у DIP –

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

корпусах з одного боку, а у SMD – з обох боків. Через сукупність цих параметрів набули широкого розповсюдження у електронній промисловості та апаратурі.

БДП складаються із парної кількості шарів діелектрика та провідного металічного шару, які чергуються між собою, утворюючи багатошарову структуру. Складність проектування та вартість БДП зростає зі збільшенням кількості шарів. З іншого боку, БДП дозволяють проектувати та створювати складні електричні пристрої, даючи інженеру найбільші можливості у трасуванні з'єднань між провідниками.

Для виготовлення пристрою, згідно ТЗ, обрано ДДП. У зв'язку із кількістю компонентів, їх масо-габаритними розмірами та з огляду на складність зв'язків між компонентами, провести трасування друкованого вузлу використовуючи ОДП, при цьому забезпечивши компактні розміри пристрою та високу надійність електричних з'єднань не є можливим. Використання БДП також не є оптимальним, адже це призведе до значного збільшення складності трасування, виробництва та верифікації готового виробу.

4.2. Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати

У якості матеріалу основи ДП обрано склотекстоліт типу FR4-2-35-1.5. Цей матеріал є найбільш поширеним з-поміж матеріалів, із яких виготовляються основи друкованих плат. Фізично, він являє собою декілька шарів скловолокна, просочених епоксидною смолою. Він має високі діелектричні показники та високу температурну стабільність електричних та габаритних характеристик. Це дозволяє отримати низькі значення паразитних ємностей та струмів втрат, якими можна нехтувати при проектуванні електричних пристроїв. Ще однією із переваг цього матеріалу є його абсолютна негорючість. Через те що склотекстоліт являє собою багато шарів склеєної тканини, він без проблем переносить вібрації та невеликі

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деформації, а також має дуже високий рівень адгезії із клеєм, яким закріплюється шар мідної фольги.

Обраний матеріал має товщину 1.5 мм, а товщина шару фольги складає 35 мкм.

4.3. Вибір методу виготовлення друкованої плати

Метод виготовлення друкованої плати визначає яким чином будуть видалені непотрібні ділянки міді з поверхні діелектрику. Будуть розглянуті наступні методи: комбінований позитивний та хімічний субтрактивний методи.

У комбінованого позитивного методу є ряд переваг:

- Можливість створення будь-якого типу друкованих плат із високим рівнем точності;
- Високий рівень адгезії між діелектричною основою та шаром мідної фольги;
- Відносно просто виготовляти перехідні отвори, що є значною перевагою при виготовленні ДДП або БДП.

Також цей метод має ряд недоліків:

- Висока глибина травлення створює підрив під друкований провідник, який обмежує мінімальну товщину друкованих провідників;
- Обмежена кількість можливих травильних розчинів;
- Збільшення вартості виготовлення друкованої плати через необхідність додатково наносити та змивати захисний шар травильної маски, потім наносити шар паяльної маски і тд.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі характеристики існуючих методів, було прийнято рішення для виготовлення друкованої плати скористатися комбінованим позитивним методом.

4.4. Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати

Однією із основних вимог до розроблюваного пристрою є габарити ДП, які дозволяють розташувати її в корпусі стандартних віконних ролет. При цьому недопустимо щоб зменшення габаритних розмірів відбувалося за рахунок зменшення якості трасування. Особливу увагу варто звернути на якість трасування ланцюгів живлення та землі.

Граничні значення основних параметрів друкованого монтажу наведені у таблиці 4.1. Також варто враховувати допустимі похибки виконання елементів друкованого монтажу, які можуть бути допущені на виробництві, вони наведені у таблиці 4.2. На ці параметри необхідно орієнтуватися при виборі класу точності поверхневого монтажу ДП.

Таблиця 4.1 - Граничні значення основних параметрів ДМ

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{\text{прг}}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$l^{\text{г}}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{\text{по}}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{\text{дт}}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 4.2 - Допустимі похибки виконання елементів ДМ

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{\text{сп}}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{\text{КМ}}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{\text{фф}}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{\text{сш}}$	0,05

Необхідну точність виконання елементів ДМ можна реалізувати виключно із застосуванням 4 і 5 класів точності. При цьому, виготовлення ДП із використанням 5 класу точності є дорожчим.

Отже, було прийняте рішення використати 4 клас точності при проєктуванні ДП.

4.5. Розрахунок елементів друкованого монтажу

4.5.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струмі для лінії GND

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму b_{minI} (мм) для ланцюгів живлення та землі визначається формулою 4.5.1.

$$b_{\text{minI}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} * t_{\text{пров}}}, \quad (4.5.1)$$

де I_{max} – пікове значення струму через провідник, А;

$j_{\text{доп}}$ - допустима щільність струму друкованого провідника, що виготовлений комбінованим позитивним методом,
 $j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$ (за ОСТ 4.010.022-85);

$t_{\text{пров}}$ – товщина друкованого провідника, мм:

$$t_{\text{пров}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{ГМ}} + h_{\text{ХМ}}, \quad (4.5.2)$$

де $h_{\text{ф}}$ - товщина фольги матеріалу, $h_{\text{ф}} = 0.035 \text{ мм}$;

$h_{\text{ГМ}}$ - товщина гальванічного осадженої міді, $h_{\text{ГМ}} = 0.055 \text{ мм}$;

$h_{\text{ХМ}}$ - товщина шару хімічно осадженої міді, $h_{\text{ХМ}} = 0.0065 \text{ мм}$.

Маємо:

$$t_{\text{пров}} = 0.035 + 0.055 + 0.0065 = 0.0965 \text{ мм}$$

Для визначення максимального струму I_{max} необхідно розглянути ситуацію при якій споживання струму пристроєм буде максимальним. Це можливо у ситуації одночасної роботи двигуна та SKW92-B при передачі даних по Wi-Fi. Двигун у номінальному режимі споживає 330 мА, SKW92B – 150. Інші блоки пристрою споживають порівняно небагато струму – тому про запас взято додатково 120 мА. В сумі маємо 330+150+120=500 мА.

Можна розрахувати мінімальну ширину друкованого провідника на постійному струмі для ліній живлення і землі:

$$b_{\text{minI}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} * t_{\text{пров}}} = \frac{500 * 10^{-3}}{48 * 0.0965} = 0.107 \text{ мм}.$$

Отримано мінімальну ширину друкованих провідників лінії GND. Для підвищення надійності та покращення якості живлення компонентів приладу, прийнято рішення збільшити ширину друкованих провідників ліній живлення та землі до 0.3 мм. Ця зміна не погіршила якість трасування ДП.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому:

Необхідно перевірити максимальне падіння напруги, яке відбувається при протіканні найбільшого струму по найдовшому друкованому провіднику:

$$b_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * L_{пров}}{t_{пров} * U_{доп}}, \quad (4.5.3)$$

де ρ – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, $\rho = 0.0175 \text{ Ом} * \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$;

$L_{пров}$ – довжина найдовшого друкованого провідника на друкованій платі, це лінія GND, $L_{пров} = 1.181 \text{ м}$;

$U_{доп}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,

$$U_{доп} = 0.05 * U_{жив} = 0.05 * 8.2 \text{ В} = 0.41 \text{ В}.$$

Мінімально допустима ширина провідника при заданих параметрах відповідає задовольняє вимогу по максимальному допустимому падінні напруги на друкованому провіднику:

$$b_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * L_{пров}}{t_{пров} * U_{доп}} = \frac{0.0175 * 1.181 * 500 * 10^{-3}}{0.0965 * 0.41} = 0.26 \text{ В} < 0.41 \text{ В}$$

4.5.3. Розрахунок номінального діаметру монтажної отвори

Деякі компоненти встановлюються за допомогою DIP – монтажу, у отвори на ДП. Їх діаметр може бути розрахований за формулою:

$$d \geq d_{ве} + \Delta d_{мо} + r, \quad (4.5.4)$$

де $d_{ве}$ – діаметр отвору для компонента, мм:

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- R14 – 0.5 мм;
- R13 – 0.5 мм;
- DD8 – 0.5 мм;
- HL1 – HL4 – 0.5 мм;
- XS2 – XS6 – 0.5 мм;
- M1 – 1 мм;
- GB1 – 1 мм.

$\Delta d_{\text{мо}}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру монтажного отвору, $\Delta d_{\text{мо}} = 0.1$ мм;

r – різниця між мінімальним діаметром монтажного отвору та максимальним діаметром вивода компонента, $r = [0.1; 0.2]$ мм.

Підставивши значення у формулу, маємо:

$$d_{R14,R13,DD8,HL1-HL4,XS2-XS6} = 0.5 + 0.1 + 0.2 = 0.8 \text{ мм},$$

$$d_{M1,GB1} = 1 + 0.1 + 0.2 = 1.3 \text{ мм},$$

4.5.4. Розрахунок діаметра контактної майданчика

Мінімальний діаметр контактної майданчика може бути розрахований за формулою:

$$D_{\text{min}} = D_{\text{min1}} + 1.5 * h_{\phi} + 0.03, \quad (4.5.5)$$

де D_{min1} – мінімальний ефективний діаметр контактної майданчика, мм:

$$D_{\text{min1}} = 2 * (b_{\text{по}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}}), \quad (4.5.6)$$

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору у ДП, мм;

$b_{по}$ – ширина пояса КМ, $b_{по} = 0.05$ мм;

δ_o – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС,
 $\delta_o = 0.07$ мм;

$\delta_{км}$ – похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, $\delta_{км} = 0.05$ мм.

Максимальний діаметр просвердленого отвору у ДП розраховується за формулою:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15), \quad (4.5.7)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм;

Δd – допуск на діаметр отвору, $\Delta d = 0.05$ мм.

Маємо:

$$D_{max} = D_{min} + 0.02 \text{ мм}, \quad (4.5.8)$$

Для $R14, R13, DD8, HL1 - HL4, XS2 - XS6$:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 0.8 + 0.05 + 0.1 = 0.95 \text{ мм}$$

$$\begin{aligned} D_{min1} &= 2 * \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 * \left(0.05 + \frac{0.95}{2} + 0.07 + 0.05 \right) \\ &= 1.29 \text{ мм} \end{aligned}$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1.5 * h_{\phi} + 0.03 = 1.29 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 1.3725 \text{ мм}$$

$$D_{max} = D_{min} + 0.02 \text{ мм} = 1.2025 + 0.02 = 1.3925 \text{ мм}$$

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для M1, GB1:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 1.3 + 0.05 + 0.1 = 1.45 \text{ мм}$$

$$D_{min1} = 2 * \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 * \left(0.05 + \frac{1.45}{2} + 0.07 + 0.05 \right) \\ = 1.79 \text{ мм}$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1.5 * h_{\phi} + 0.03 = 1.79 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 1.8725 \text{ мм}$$

$$D_{max} = D_{min} + 0.02 \text{ мм} = 1.8725 + 0.02 = 1.8925 \text{ мм}$$

4.5.5. Розрахунок мінімальної ширини друкованого провідника

Для обрахування цього параметру, необхідно застосувати формулу:

$$b_{min} = b_{п\ p}^r + 1.5 * h_{\phi} + 0.03, \quad (4.5.9)$$

де $b_{п\ p}^r$ – мінімальна ширина провідника для обраного класу точності, у випадку 4-го класу точності: $b_{п\ p}^r = 0.15 \text{ мм}$.

Отже:

$$b_{min} = b_{п\ p}^r + 1.5 * h_{\phi} + 0.03 = 0.15 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 0.2325 \text{ мм}.$$

Нас цікавить максимальна ширина провідника:

$$b_{max} = b_{min} + 0.02 = 0.2325 + 0.02 = 0.2525 \text{ мм}$$

4.5.6. Розрахунок мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

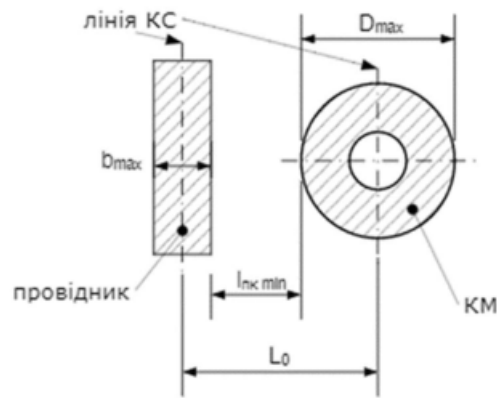


Рисунок 4.1 – Схематичне зображення відстані між провідником і контактним майданчиком

Відстань між провідником і контактним майданчиком може бути розрахована за формулою (4.5.10):

$$l_{ПКМ\ min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right), \quad (4.5.10)$$

де L_0 – відстань між центром отвору та центром друкованого провідника, що є кратним кроку КС, найскладніший випадок, $L_0 = 1.5$ мм;

$\delta_{сп}$ – похибка зміщення провідника, $\delta_{сп} = 0.05$ мм;

D_{max} – найбільший діаметр із раніше розрахованих, $D_{max} = 1.8925 \approx 1.9$ мм;

$\delta_{км}$ – похибка зміщення контактного майданчика, $\delta_{км} = 0.05$ мм;

b_{max} – максимальна ширина провідника, $b_{max} = b_{min} + 0.02 = 0.2325 + 0.02 = 0.2525$.

$$\begin{aligned} l_{ПКМ\ min} &= L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right) \\ &= 1.5 - \left(\frac{1.9}{2} + 0.05 + \frac{0.2525}{2} + 0.05 \right) = 0.3225 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Отримане значення може бути реалізоване за допомогою обраного класу точності.

4.5.7. Розрахунок мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками

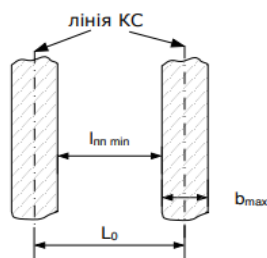


Рисунок 4.2 – Схематичне зображення відстані між двома сусідніми провідниками

Мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками може бути розрахована за формулою:

$$l_{\text{пп min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2\delta_{\text{СП}}) \quad (4.5.11)$$

Так як для трасування ДП необхідно проводити друковані провідники між виводами мікросхем, застосовано координатну сітку із кроком 0.5 мм, тобто $L_0 = 0.5$ мм.

Підставивши числа, маємо:

$$l_{\text{пп min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2\delta_{\text{СП}}) = 0.5 - (0.2525 + 2 * 0.05) = 0.1475 \text{ мм}$$

Отже, мінімальна відстань між двома друкованими провідниками має складати 0.1475 мм.

4.5.8. Розрахунок мінімальної відстані між двома контактними майданчиками

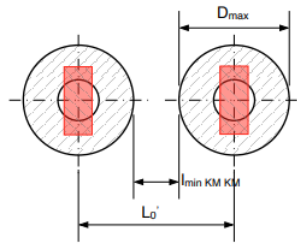


Рисунок 4.3 – Схематичне зображення відстані між двома контактними майданчиками

Мінімальна відстань між двома контактними майданчиками може бути розрахована за формулою:

$$l_{\text{КМ min}} = L'_0 - (D_{\text{max}} + 2\delta_{\text{КМ}}), \quad (4.5.12)$$

де L'_0 – відстань між центрами сусідніх КМ, $L'_0 = 2.5$ мм.

Підставивши числа, маємо:

$$l_{\text{КМ min}} = L'_0 - (D_{\text{max}} + 2\delta_{\text{КМ}}) = 2.5 - (1.9 + 2 * 0.05) = 0.5 \text{ мм.}$$

Висновок до розділу

У цьому розділі були визначені параметри ДП пристрою. Було обрано двосторонню ДП, виготовлену зі склотекстоліту FR4-2-35-1.5, комбінованим позитивним методом, із застосуванням 4-го класу ДМ. Проведені розрахунки підтверджують можливість виготовлення ДП обраним методом із обраним класом точності.

РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

У ДП, неминуче виникають паразитні електричні величини. Особливо це явище проявляється у випадку зменшення геометричних розмірів друкованої плати (через посилення ємнісних та індуктивних зв'язків між сигнальними провідниками) та у випадку використання ДДП або БДП. При зміні логічного рівня сигналу на цифрових компонентах, у ланцюгах виникають високочастотні імпульсні струми з крутими фронтами, які внаслідок наявності паразитних зв'язків продукують завади на сусідніх провідниках. У деяких випадках вони здатні викликати хибні спрацювання цифрових компонентів.

Паразитні реактивності – це приховані паразитні ємності та індуктивності. Вони утворюються за рахунок паразитних зв'язків між виводами компонентів, довгими друкованими провідниками, ємності між друкованими контактними майданчиками та полігоном землі, паразитною взаємодією між перехідними отворами. При проєктуванні друкованого вузлу, необхідно щоб величини паразитних параметрів не перевищували допустимі значення.

Для аналізу впливу паразитних параметрів на роботу друкованого вузла, проведено електричний розрахунок ДП.

5.1. Розрахунок падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Необхідний розрахунок проведений у п. 4.5.2. Отримане значення падіння напруги на найдовшому провіднику склало 0.26 В, що є менше 5% від напруги живлення. Отже, ширина друкованих провідників вибрана вірно.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Найбільша ємність між двома сусідніми провідниками

$$C = 0.12 * \varepsilon * I_{\text{пр}} * \left(\lg \frac{2*S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right)^{-1}, \quad (5.1)$$

де S – відстань між двома провідниками, $S = 0.35$ мм;

$b_{\text{пр}}$ – ширина друкованого провідника, $b_{\text{пр}} = 0.2$ мм;

$t_{\text{пр}}$ – товщина друкованих провідників, $t_{\text{пр}} = 0.035$ мм;

$I_{\text{пр}}$ – довжина найдовшого взаємного перекриття двох паралельних провідників, $I_{\text{пр}} = 1181$ мм;

ε – діелектрична проникність друкованої плати із урахуванням лаку.

Для даного розрахунку ε може бути розрахована за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * (h_{\text{мат.ДП}} + 2 * h_{\text{шару лаку}})}{2 * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * h_{\text{шар лаку}} + \varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{мат.ДП}}}, \quad (5.2)$$

де $\varepsilon_{\text{лаку}}$ – діелектрична проникність лаку УР-231 ТУ 6-21-14-90,
 $\varepsilon_{\text{лаку}} = 4.5$;

$h_{\text{мат.ДП}}$ – товщина друкованої плати, $h_{\text{мат.ДП}} = 1.5$ мм;

$\varepsilon_{\text{мат.ДП}}$ – діелектрична проникність склотекстоліту FR4, $\varepsilon_{\text{мат.ДП}} = 4.5$;

$h_{\text{шар лаку}}$ – товщина шару лаку, $h_{\text{шар лаку}} = 10 * 10^{-6}$ м.

Маємо:

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * (h_{\text{мат.ДП}} + 2 * h_{\text{шару лаку}})}{2 * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * h_{\text{шар лаку}} + \varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{мат.ДП}}}$$

$$= \frac{4.5 * 4.5 * (1.5 * 10^{-3} + 2 * 10 * 10^{-6})}{2 * 4.5 * 10 * 10^{-6} + 4.5 * 1.5 * 10^{-3}} = 4.55$$

Тоді:

$$C = 0.12 * \varepsilon * I_{\text{пр}} * \left(\lg \frac{2 * S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right)^{-1}$$

$$= 0.12 * 4.55 * 1.181 * \left(\lg \frac{2 * 0.35}{0.2 + 0.035} \right)^{-1} = 1.36$$

5.3 Найбільша взаємна індуктивність двох паралельних друкованих провідників

$$M = 0.02 * (l_{\text{пр}} * \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0), \quad (5.3)$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, найгірший випадок, $l_{\text{пр}} = 1181$ мм;

L_0 – відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників, $L_0 = 0.15$ мм.

Маємо:

$$M = 0.02 * \left(l_{\text{пр}} * \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0 \right) = 0.02 * \left(1.181 * \right.$$

$$\left. \lg \frac{\sqrt{1.181^2 + 0.15^2} + 1.181}{0.15} - \sqrt{1.181^2 + 0.15^2} + 0.15 \right) = 0.02 * (1.416 - 1.19) =$$

$$0.00452 \text{ Гн}$$

5.4 Потужність втрат двосторонньої друкованої плати

$$P_{\text{втрат}} = 2 * \pi * f * C * E^2 * tg(\sigma), \quad (5.4)$$

де f – частота струму, так як струм постійний – то $f = 1$ Гц;

$tg(\sigma)$ – тангенс кута діелектричних втрат ДП;

C – ємність друкованої плати, Ф;

E – напруга живлення, $E = 5$ В.

Ємність друкованої плати можна розрахувати за формулою:

$$C = \frac{0.009 * \varepsilon * S_m}{h}, \quad (5.5)$$

де ε – діелектрична проникність склотекстоліту FR4, $\varepsilon = 4.5$;

S_m – площа металізації ДП, $S_m = 0.007189$ м²;

h – товщина ДП, $h = 1.5 * 10^{-3}$ м.

Тангенс кута діелектричних втрат можна розрахувати за формулою:

$$tg\sigma = \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{мат.ДП}} * tg\sigma_{\text{мат.ДП}} + 2 * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * h_{\text{шару лаку}} * tg\sigma_{\text{лаку}}}{2 * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * h_{\text{шару лаку}} * \varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{мат.ДП}}}, \quad (5.6)$$

де $\varepsilon_{\text{лаку}}$ – діелектрична проникність лаку УР-231 ТУ 6-21-14-90,

$\varepsilon_{\text{лаку}} = 4.5$;

$h_{\text{мат.ДП}}$ – товщина друкованої плати, $h_{\text{мат.ДП}} = 1.5 * 10^{-3}$ м;

$tg\sigma_{\text{мат.ДП}}$ – тангенс кута діелектричних втрат матеріалу ДП,

$tg\sigma_{\text{лаку}} = 0.002$;

$\varepsilon_{\text{мат.ДП}}$ – діелектрична проникність FR4, $\varepsilon_{\text{мат.ДП}} = 4.5$;

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$h_{\text{шару лаку}}$ – товщина шару лаку, $h_{\text{шару лаку}} = 10 * 10^{-6} \text{ м}$;

$tg\sigma_{\text{лаку}}$ – тангенс кута діелектричних втрат лаку УР-231 ТУ 6-21-14-90, $tg\sigma_{\text{лаку}} = 0.03$.

Маємо:

$$tg\sigma = \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{мат.ДП}} * tg\sigma_{\text{мат.ДП}} + 2 * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * h_{\text{шару лаку}} * tg\sigma_{\text{лаку}}}{2 * \varepsilon_{\text{мат.ДП}} * h_{\text{шару лаку}} * \varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{мат.ДП}}}$$

$$= \frac{4.5 * 1.5 * 10^{-3} * 0.002 + 2 * 4.5 * 10 * 10^{-6} * 0.03}{2 * 4.5 * 10 * 10^{-6} + 4.5 * 1.5 * 10^{-3}}$$

$$= 0.0024$$

$$C = \frac{0.009 * \varepsilon * S_m}{h} = \frac{0.009 * 4.5 * 0.007189}{1.5 * 10^{-3}} = 0.194$$

$$P_{\text{втрат}} = 2 * \pi * f * C * E^2 * tg(\sigma)$$

$$= 2 * 3.14 * 1 * 0.000194 * 5^2 * 0.0024 = 0.0731 \text{ Вт}$$

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6. ТЕМПЕРАТУРНИЙ РОЗРАХУНОК КОМПОНЕНТІВ ІЗ НАЙБІЛЬШОЮ ПОТУЖНІСТЮ

Щоб переконатися у тому, що пристрій може працювати без додаткового охолодження, необхідно провести тепловий розрахунок компонентів, які розсіюють найбільшу потужність. Такими компонентами є драйвер двигуна TB6612FNG та підвищуючий DC-DC перетворювач LM2587.

У загальному випадку, потужність електроприладу розраховується за формулою:

$$P = V * I, \quad (5.1)$$

де P – розсіювана приладом потужність, Вт;

V – напруга, що падає на приладі, В;

I – струм, що падає на приладі, А.

Спочатку проведемо розрахунок для драйвера двигуна TB6612FNG. Із даташита [15] відомо, що еквівалентний опір мікросхеми складає при роботі 0.5 Ом. Враховуючи, що струм двигуна складає 330 мА, за законом Ома можемо записати:

$$V = I * R = 330 * 10^{-3} * 0.5 = 0.15 \text{ В}$$

Тоді за (5.1), розсіювана мікросхемою потужність складе:

$$P = V * I = 0.15 * 0.33 = 0.0495 \text{ Вт}$$

Знаючи розсіювану потужність, можна розрахувати температуру кристала при роботі за нормальних умов:

$$T = T_{\text{нy}} + R * P,$$

де $T_{\text{нy}}$ – температура за нормальних умов, $T_{\text{нy}} = 25^{\circ}\text{C}$;

R – тепловий опір мікросхеми, $R = 160^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

$$T = T_{\text{нy}} + R * P = 25 + 160 * 0.0495 = 32.92^{\circ}\text{C}$$

Для коректної роботи мікросхеми, максимальна температура кристалу не має перевищувати 150°C . Як видно, дана вимога виконується із великим запасом і мікросхема-драйвер не потребує додаткового охолодження.

Наступним кроком проведемо розрахунок теплового режиму для підвищуючого DC-DC перетворювача LM2587. У даташиті [14] наведено формулу для розрахунку розсіюваної потужності мікросхеми:

$$P = 0.15 * \left(\frac{I_{\text{LOAD}}}{1-D} \right)^2 * D + \frac{I_{\text{LOAD}}}{50*(1-D)} * D * V_{\text{IN}}, \quad (5.2)$$

де I_{LOAD} – максимальний струм навантаження, $320 * 10^{-3} \text{ A}$;

V_{IN} – мінімальна вхідна напруга, $V_{\text{IN}} = 5\text{В}$;

P – розсіювана потужність мікросхеми, Вт;

D – коефіцієнт заповнення, може бути розрахований за формулою:

$$D = \frac{V_{\text{out}} - V_{\text{in}}}{V_{\text{out}}} = \frac{12 - 5}{12} = 0.58$$

Маємо:

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
 P &= 0.15 * \left(\frac{I_{LOAD}}{1 - D} \right)^2 * D + \frac{I_{LOAD}}{50 * (1 - D)} * D * V_{IN} \\
 &= 0.15 * \left(\frac{320 * 10^{-3}}{1 - 0.58} \right)^2 * 0.58 + \frac{320 * 10^{-3}}{50 * (1 - 0.58)} * 0.58 * 5 \\
 &= 0.05 + 0.0442 = 0.0942 \text{ Вт}
 \end{aligned}$$

Знаючи розсіювану потужність, можна розрахувати температуру кристала при роботі за нормальних умов:

$$T = T_{\text{ну}} + R * P,$$

де $T_{\text{ну}}$ – температура за нормальних умов, $T_{\text{ну}} = 25^{\circ}\text{C}$;

R – тепловий опір мікросхеми, $R = 65^{\circ}\text{C/Вт}$.

$$T = T_{\text{ну}} + R * P = 25 + 65 * 0.0942 = 31.123^{\circ}\text{C}$$

Для коректної роботи мікросхеми, максимальна температура кристалу не має перевищувати 110°C . Як видно, дана вимога виконується із великим запасом і мікросхема-драйвер не потребує додаткового охолодження.

РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК ВІБРОМІЦНОСТІ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Таблиця 7.1 – Маси електричних компонентів, використаних у ДП

Компонент	Кількість	Маса, г	Заг. маса, г
Резистор 0805	24	0.07	1.68
Резистор DIP 0.5 Вт	1	1.00	1.00
Конденсатор керам. 0805	11	0.05	0.55
Конденсатор електроліт. 10 мкФ	6	0.40	2.40
Конденсатор електроліт. 47 мкФ	7	0.50	3.50
Конденсатор електроліт. 330 мкФ	4	0.91	3.63
Конденсатор електроліт. 1000 мкФ	3	1.50	4.50
Котушка індукт. 10 мкГн	1	2.00	2.00
Котушка індукт. 15 мкГн	1	2.00	2.00
Котушка індукт. 22 мкГн	2	2.00	4.00
Котушка індукт. 47 мкГн	2	2.00	4.00
IC MT3608	2	0.02	0.03
IC BQ24103	1	0.05	0.05
IC LM2587-ADJ	1	1.50	1.50
IC TB6612FNG	1	0.14	0.14
IC AP1509-33	1	0.09	0.09
IC AP1509-50	1	0.09	0.09
IC STM32F072CBT6	1	0.17	0.17
Модуль Skylab SKW92-B	1	4.00	4.00
Плавкий запобіжник 0805	2	0.08	0.16
Світлодіод 0805	4	0.09	0.36
Діод SS34	4	0.24	0.94
MOSFET FDV301N	1	0.01	0.01
MOSFET PMV65XP	1	0.01	0.01
SMD кварцевий резонатор	1	1.00	1.00
USB micro-B конектор	1	2.00	2.00
PLS 1*1 конектор	4	0.05	0.20
PLS 16*1 конектор	1	0.80	0.80
SMD кнопка	1	0.10	0.10
Всього			40.89

Маси електричних компонентів ДП занесені до таблиці 7.1.

Розмір ДП: $a * b * \delta = 108 * 56 * 1.5$ мм.

Густина склотекстоліту FR4: $\rho = 2050$ кг/м³

Маса ДП може бути розрахована за формулою:

$$m = \rho * V = \rho * a * b * \delta = 2050 * 0.108 * 0.056 * 0.0015 = 0.0186 \text{ кг}$$

Параметри склотекстоліту FR4:

- тимчасовий опір $\sigma_{\text{тимч}} = 105$ МПа;
- модуль Юнга $E = 3.02 * 10^{10}$ Па;
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0.22$;
- показник затухання $\varepsilon = 0.06$;
- густина : $\rho = 2050$ кг/м³;
- питома щільність $\nu = 2.05 * 10^4$ Н/м³;
- коефіцієнт запасу міцності $n_1 = 2$.

Обрано метод закріплення ДП – спирання на 4 сторони. Схематично це зображено на рис. 7.1.

Спирання на 4 сторони



Рисунок 7.1 – Схематичне зображення методу закріплення ДП спиранням на 4 сторони

Далі наведено розрахунки методу закріплення на 4 сторони:

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_E}{m_{ДП}}}} \quad (7.1)$$

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_E}{m_{ДП}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0.04089}{0.0186}}} = 0.56$$

У (7.2) наведено формулу розрахунку коефіцієнта α , що враховує обраний тип закріплення ДП:

$$\alpha = \pi^2 * \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \quad (7.2)$$

$$\alpha = \pi^2 * \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) = 3.14^2 * \left(1 + \frac{0.108^2}{0.056^2}\right) = 46.53$$

У (7.3) наведено формулу розрахунку циліндричної жорсткості D :

$$D = E * \frac{h^3}{12 * (1 - \mu^2)} \quad (7.3)$$

$$D = E * \frac{h^3}{12 * (1 - \mu^2)} = 3.02 * 10^{10} * \frac{0.0015^3}{12 * (1 - 0.22^2)} = 8.92$$

У (7.4) наведено формулу розрахунку власної частоти коливань ДП $f_{\text{власн}}$:

$$f_{\text{власн}} = \frac{K_B * \alpha}{2 * \pi * a^2} * \sqrt{\frac{D * g}{v * h}} \quad (7.4)$$

$$\begin{aligned} f_{\text{власн}} &= \frac{K_B * \alpha}{2 * \pi * a^2} * \sqrt{\frac{D * g}{v * h}} = \frac{0.56 * 46.53}{2 * 3.14 * 0.108^2} * \sqrt{\frac{8.92 * 9.81}{2.05 * 10^4 * 0.0015}} \\ &= 355.7 * \sqrt{2.84} = 599.4 \text{ Гц} \end{aligned}$$

Так як $f_{\text{власна}} > 250$ Гц – конструкція абсолютно жорстка. Тому немає потреби у проведенні розрахунків амплітуди вібрацій на власній частоті та динамічного прогину.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 8. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

Надійність є однією із основних характеристик електричного приладу. Вона описує властивість пристрою виконувати заявлені функції протягом певного часу в заданих умовах експлуатації та з проведенням необхідного обслуговування. Для отримання інформації про надійність прилада, необхідно проаналізувати надійність кожного його компонента. Надійність всієї системи визначається надійністю найменш надійного із її компонентів.

Надійність складається із таких параметрів:

- $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи протягом часу t ;
- $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов;
- T – середній час напрацювання на відмову;
- $Q(t)$ – імовірність відмови.

Середній час напрацювання на відмову визначається за формулою 8.1:

$$T_{\text{сер}} = 1/\lambda \quad (8.1)$$

Інтенсивність відмов визначається формулою 8.2:

$$\lambda_e = \lambda_{oe} * K_1 * K_2 * \dots * K_n, \quad (8.2)$$

де λ_{oe} – інтенсивність відмов компоненту за нормальних умов роботи (н.у. – темп. навколишнього середовища $25 \pm 5^\circ\text{C}$, відносна вологість $65 \pm 15\%$);

K_n – коефіцієнт електричного навантаження, що враховує умови експлуатації компонента і може бути розрахований за формулою 8.3:

$$K_{\text{нав}} = \frac{N_{\text{робоч}}}{N_{\text{номінал}}} \quad (8.3)$$

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунки проводяться на основі базової інтенсивності відмов для н.у., бо згідно ТЗ передбачена робота приладу лише всередині приміщення за н.у. Ця величина взята з [16].

Окрім базової інтенсивності відмов також будуть враховані:

- K_H – коефіцієнт навантаження;
- α_t – коефіцієнт температурного режиму;
- α_e – коефіцієнт зовнішніх впливів.

8.1 Розрахунок коефіцієнта навантаження для резисторів

На резисторах падає певна напруга, яка перетворюється у струм. Найбільш навантаженим у пристрої є резистор R14. Він виступає у якості датчика струму для мікросхеми-контролера заряду батареї. При розрахунку коефіцієнта навантаження порівнюємо номінальну та реальну розсіювану потужності:

$$K_{\text{нав } R} = \frac{P_{\text{робоча}}}{P_{\text{ном.}}} = \frac{R \cdot I_{\text{аккумуля.}}^2}{P_{\text{ном.}}} = \frac{0.1 \cdot 1.2^2}{0.5} = 0.288,$$

де $P_{\text{ном.}}$ – номінальна потужність резистора, $P_{\text{ном.}} = 0.5$ Вт;

$I_{\text{аккумуля.}}$ – струм заряду акумулятора, $I_{\text{аккумуля.}} = 1.2$ А;

R – опір резистора, $R = 0.1$ Ом.

8.2 Розрахунок коефіцієнта навантаження для конденсаторів

$K_{\text{нав}}$ розраховується на основі номінальної та робочої напруги конденсатора. В якості робочої напруги обрано 12 В – найвища присутня напруга в приладі.

$$K_{\text{нав } C \text{ керамічн.}} = \frac{U_{\text{робоча}}}{U_{\text{ном.}}} = \frac{12}{50} = 0.24$$

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{нав С електролітичн.}} = \frac{U_{\text{робоча}}}{U_{\text{ном.}}} = \frac{12}{16} = 0.75$$

8.3 Розрахунок коефіцієнта навантаження для діодів

$K_{\text{нав}}$ розраховується на основі номінального та робочого прямого струму через діод. В якості робочого струму обрано струм заряду акумулятора через USB – конектор – найвищий присутній струм в приладі. Він становить 2 А.

$$K_{\text{нав діодів}} = \frac{I_{\text{робочий}}}{I_{\text{ном.}}} = \frac{2}{3} = 0.66$$

8.4 Розрахунок коефіцієнта навантаження для транзисторів

У схемі MOSFET транзистори працюють у ключовому режимі. Розрахуємо надійність для транзистора, через який проходить живлення SKW92-B.

$$K_{\text{нав транзисторів}} = \frac{I_{\text{робочий}}}{I_{\text{ном.}}} = \frac{0.5}{2.8} = 0.17$$

Решта елементів

Всі компоненти підбиралися таким чином, щоб їх робочі навантаження не перевищували номінальні. Тому для всіх інших компонентів приймаємо $K_{\text{нав}}$ як 1 – найгірший випадок.

8.5 Розрахунок результуючої інтенсивності відмов

Передбачається що прилад буде експлуатуватися у капітальних, критих, опалюваних приміщеннях із штучною вентиляцією. Цим умовам відповідає кліматичне виконання приладу УХЛ4.2. Температурний режим роботи приладу складає $[+1; +35]^{\circ}\text{C}$. Враховуючи це, із довідника обираємо поправочний коефіцієнт a_t [16]. Прилад належить до класу пристроїв, що

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатуються у приміщеннях з регульованою температурою та вологістю – тому значення поправочного коефіцієнта становить 1.1 [16].

Маючи необхідні дані, створено таблицю 8.1. Значення необхідних коефіцієнтів взяті з [16].

Таблиця 8.1 – Надійність електричних компонентів пристрою

Компонент	N	λ_{0e} * 10^{-6} , год $^{-1}$	K_H	a_t	a_e	$\lambda_{0e} * N * K_H$ * $a_t * a_e$
Резистори	25	0.044	0.288	0.2	1.1	0.06970
Конденсатори керамічні	11	0.022	0.24	0.4	1.1	0.02556
Конденсатори електроліт.	20	0.173	0.75	0.2	1.1	0.57090
Котушки індукт.	6	0.179	1	0.4	1.1	0.47256
Мікросхеми	8	0.025	1	1.2	1.1	0.26400
Плавкий запобіжник 0805	2	0.044	1	0.2	1.1	0.01936
Світлодіод 0805	4	0.091	1	0.9	1.1	0.36036
Діоди	4	0.025	0.66	0.9	1.1	0.06534
Транзистори	2	0.044	0.17	0.9	1.1	0.01481
SMD кварцевий резонатор	1	0.03	1	1	1.1	0.03300
Кнопка	1	0.16	1	1	1.1	0.17600
Друкована плата	2	0.002	1	1	1.1	0.00220
Друкована плата (мет. отвори)	256	0.000017	1	1	1.1	0.00479
Контакти роз'ємів	25	0.015	1	1	1.1	0.41250

Пайка виводу	409	0.000069	1	1	1.1	0.03104
Сума:						2.52211

де a_e – поправочний коефіцієнт зовнішніх впливів, для приміщень з регульованою вологістю та температурою, $a_e = 1.1$, [16];

a_t – поправочний температурний коефіцієнт.

Остаточна інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивностей відмов компонентів:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (8.4)$$

де $\lambda_{pi} = \lambda_{0e} * N * K_H * a_t * a_e$;

N – кількість компонентів даного класу;

λ_{0e} – інтенсивність відмов;

K_H – коефіцієнт навантаження;

a_t – поправочний температурний коефіцієнт;

a_e – поправочний коефіцієнт на зовнішні впливи, залежить від умов експлуатації пристрою.

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} = 2.52 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Середній час наробітки на відмову може бути розрахований за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p}, \quad (8.5)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{2.52 \cdot 10^{-6}} = 396825 \text{ год} \approx 45 \text{ років}$$

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ та імовірність відмови $Q(t)$ протягом часу t може бути розрахована за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda_p \cdot t} \quad (8.6)$$

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (8.7)$$

Необхідно обчислити імовірність безвідмовної роботи та імовірність відмови протягом одного року з початку роботи приладу. У одному році 8766 годин. Тоді, маємо:

$$P(8766) = e^{-2.52 \cdot 10^{-6} \cdot 8766} = 0.98$$

$$Q(8766) = 1 - P(8766) = 1 - 0.98 = 0.02$$

На рис. 8.1 наведено графік залежностей $P(t)$ та $Q(t)$ на проміжках часу $[0; 500000]$ годин роботи. З графіку видно, що імовірності стануть рівними після проходження 295600 годин, тобто більше 30 років. Причиною такої високої надійності є майже лабораторні умови експлуатації приладу. Також отриманий час роботи на відмову не враховує раптових відмов.

Загалом, отримані результати надійності повністю задовольняють вимогам ТЗ.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

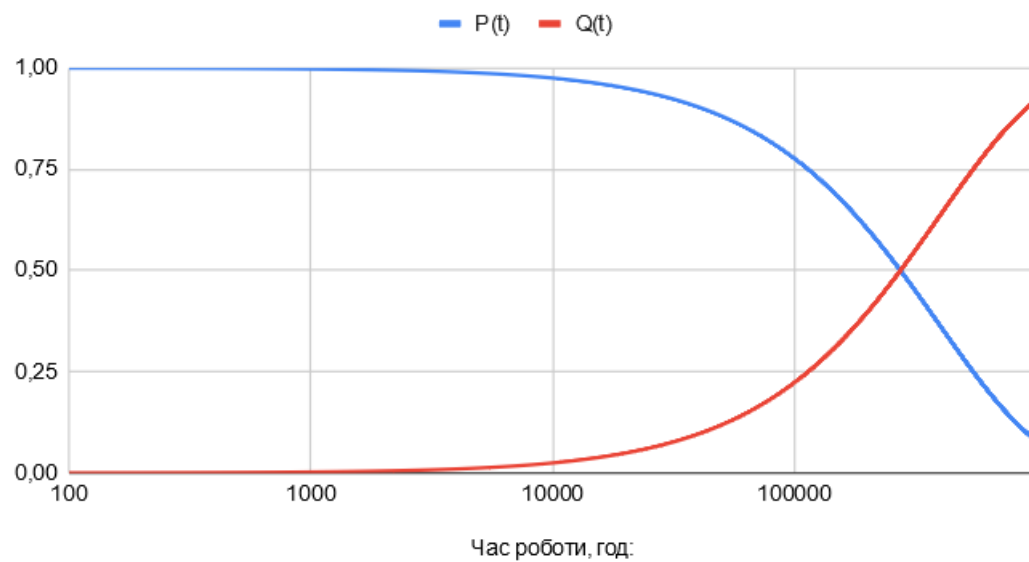


Рисунок 8.1 – графік залежностей $P(t)$ та $Q(t)$ від часу

РОЗДІЛ 9. МЕТОДИКА ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ У СЕРЕДОВИЩІ ALTIUM DESIGNER

Altium Designer – САПР професійного рівня, яка надає розробнику можливості по створенню електронних пристроїв найвищої складності. Вона є комплексною та дозволяє реалізувати повний цикл виробництва електричних пристроїв всередині однієї системи, без застосування допоміжних програм. Інженеру надаються можливості із розробки електричної схеми принципової, комп'ютерне моделювання її роботи, розробку окремих електричних компонентів, що будуть використані у пристрої, проектування друкованої плати (ОДП, ДДП та БДП) та отримання конструкторської документації на проєктований пристрій.

Для розробки пристрою були використані наступні можливості САПР:

- Самостійне створення бібліотеки умовних графічних позначень та посадкових майданчиків для електронних компонентів;
- Створення схеми електричної принципової;
- Трасування друкованої плати;
- Генерація необхідної конструкторської документації.

9.1. Створення проєкту друкового вузлу

Щоб уся документація, необхідна для реалізації пристрою знаходилася в одному місці та мала внутрішні зв'язки між собою (УГП можна було прив'язувати до посадкових майданчиків, 3D STEP моделей і тд.), необхідним є створення проєкту друкового вузлу.

PCB Project об'єднує всі необхідні документи всередині себе, надаючи інженеру зручний користувацький інтерфейс для одночасного оперування ними.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

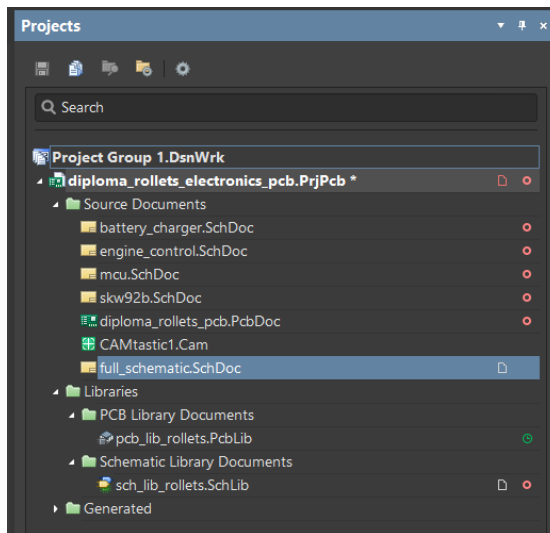


Рисунок 9.1 – Структура проекту Altium Designer розроблюваного друкованого вузлу

9.2. Створення бібліотеки умовних графічних позначень

Altium Designer за-замовчуванням містить бібліотеки готових компонентів. Але не завжди бажаний компонент буде серед тих, що доступні у стандартних бібліотеках. Також його УГП може не відповідати вимогам ЄСКД. Тому були створені УГП для всіх електронних компонентів, що використовуються у розробленому пристрої, що відповідають мимогам ЄСКД.

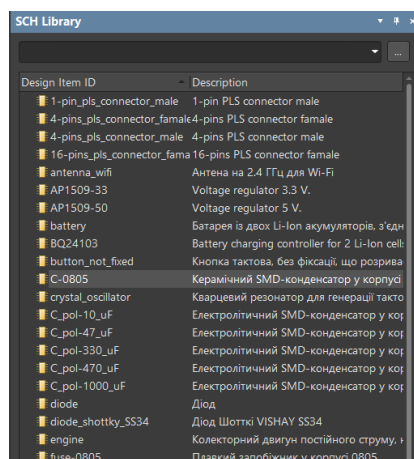


Рисунок 9.2 – Розроблена бібліотека УГП

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9.3. Створення бібліотеки посадкових майданчиків

Altium Designer містить бібліотеки посадкових майданчиків для найрозповсюдженіших типів корпусів. Але не завжди потрібний компонент наявний серед стандартних. Тому була розроблена бібліотека посадкових майданчиків для всіх електричних компонентів, використаних у проєкті.

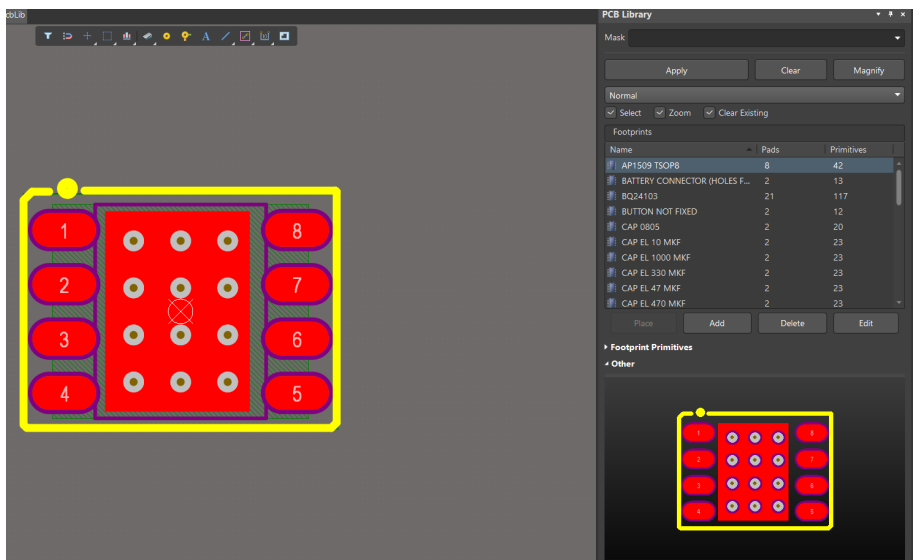


Рисунок 9.3 – Розроблена бібліотека посадкових майданчиків

9.4. Створення схеми електричної принципової

За допомогою вбудованого у САПР редактора принципових схем, з використанням самостійно створеної бібліотеки УГП, було накреслено схему електричну принципову.

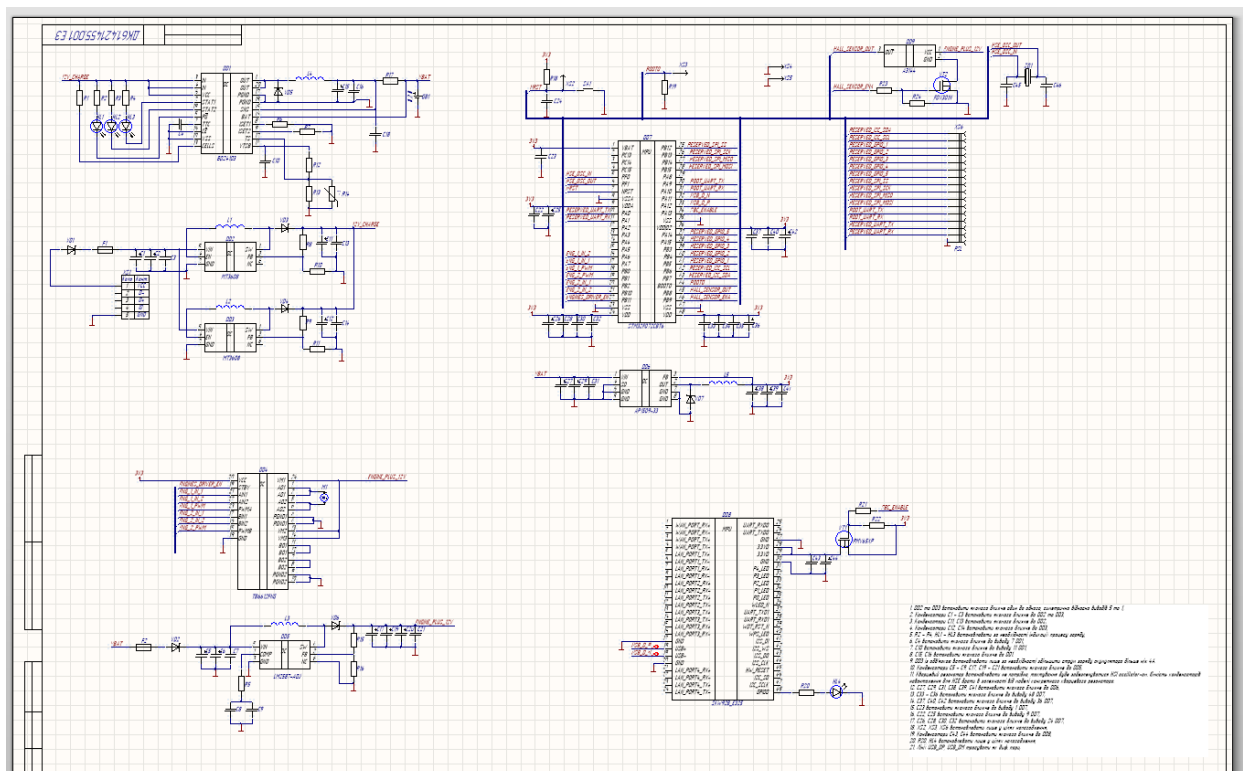


Рисунок 9.4 – Редактор схеми електричної принципової

9.5. Трасування друкованої плати

Трасування ДП може виконуватися двома способами: вручну та автоматично. Для отримання адекватного трасування автоматичним способом, необхідно детально налаштувати відповідні коефіцієнти програми і все-одно отриманий результат матиме багато недоліків і потребуватиме доопрацювання (у випадку проектування більш-менш складного пристрою). Тому було прийнято рішення провести ручше трасування ДП. У результаті отримано результат, зображений на рис. 9.5 та 9.6.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК61.421455.001 ПЗ

Арк.

88

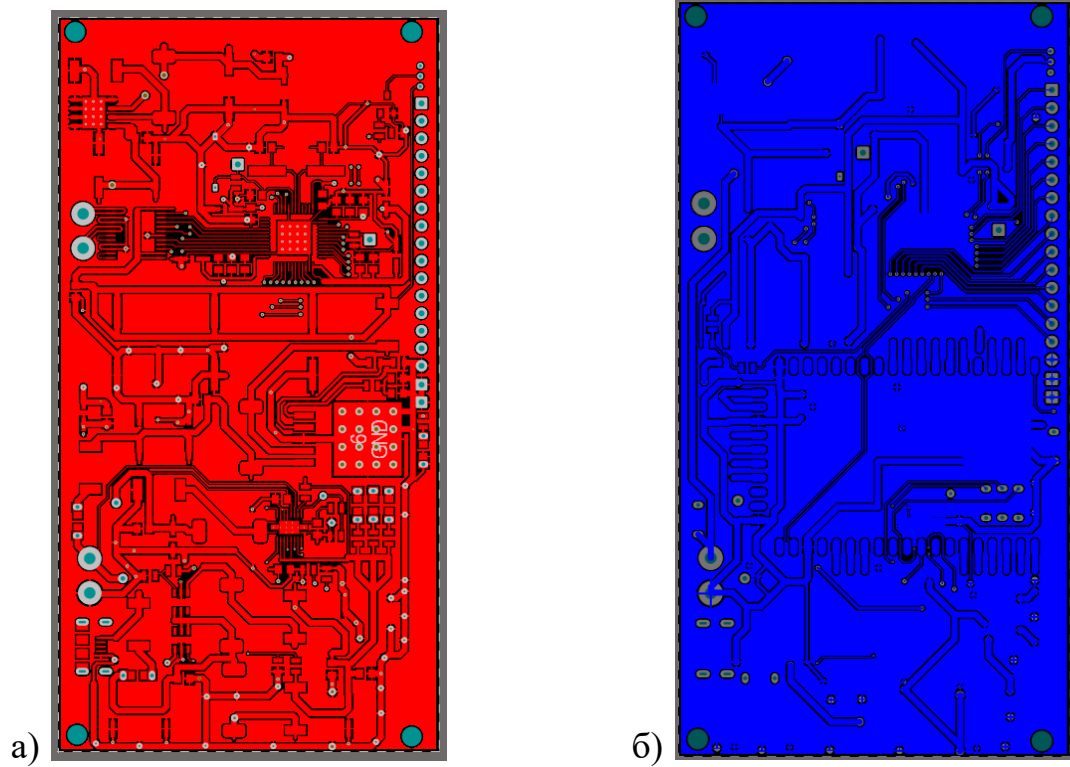


Рисунок 9.6 – Зовнішній вигляд ДП, друковані провідники а) шар top, б) шар bottom

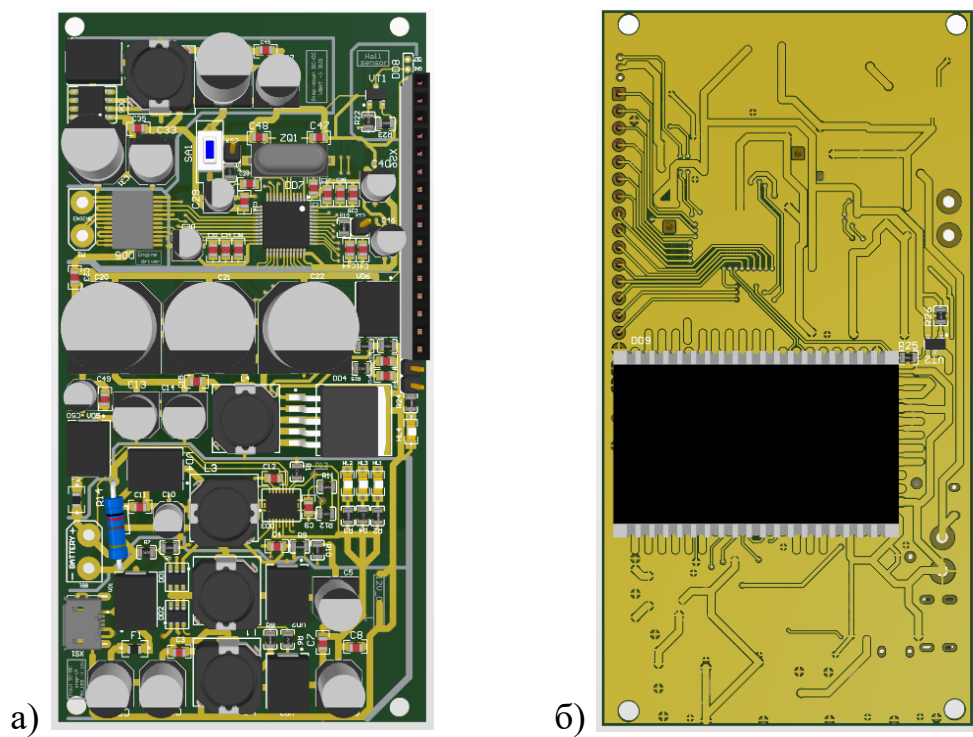


Рисунок 9.6 – Зовнішній вигляд ДП, 3D модель а) вид зверху, б) вид знизу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК61.421455.001 ПЗ

Арк.

89

РОЗДІЛ 10. ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

10.1 Вибір операційної системи для мікроконтролера

Прошивка для мікроконтролера може бути реалізована з використанням двох основних підходів: bare-metal та із використанням ОС. Використання ОС надає розробнику певний рівень абстракції над апаратурою, що пришвидшує розробку. Тому було прийняте рішення реалізувати прошивку мікроконтролера із застосуванням ОС.

Операційні системи бувають двох видів: загального призначення (general – purpose) та реального часу (RTOS). Різниця між ними полягає у різних підходах планувальника задач (scheduler-a) до розподілення процесорного часу між різними процесами.

У випадку ОС загального призначення, основною вимогою до планувальника задач є забезпечення максимальної продуктивності ОС. При цьому, планувальник задач може підвищувати пріоритет процесів, які найактивніше працюють у даний момент та знижувати пріоритет процесів, що знаходяться у стані очікування. Це робить можливою ситуацію, коли планувальник задач не надає процесорного часу чекаю чому процесу протягом тривалого терміну (сотні мс – одиниці с). Це нормально у випадку домашнього ПК, але неприпустимо у для автономної системи, де кожна задача забезпечує певну частину функціоналу. Найпопулярнішими ОС загального призначення є Microsoft Windows та GNU/Linux.

При використанні RTOS, основною вимогою до планувальника задач є забезпечення кожної із запущених задач процесорним часом та обов'язкова витримка пріоритетів виконуваних задач. Це означає, що коли вирішується яку задачу виконувати у даний момент часу, пріоритет завжди надавався задачі із найвищим пріоритетом. Цей принцип робить RTOS найкращим вибором для автономних систем.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Серед RTOS для STM-32 мікроконтролерів найпопулярнішою є FreeRTOS. Велике ком'юніті, якісна документація та малі вимоги до апаратних ресурсів зумовили її широку розповсюдженість. Тому прийнято рішення використати FreeRTOS під час написання прошивки мікроконтролера.

10.2 Вибір методу роботи із периферією STM-32

Для контролю периферії мікроконтролерів серії STM-32, розробнику доступні декілька підходів.

Найпростіший із них – розробка без використання будь-яких бібліотек. Необхідно зберігати адреси потрібних регістрів у змінні, звертатися напряму за їх адресою, записувати в регістри необхідні значення. Такий підхід, потенціально, здатен забезпечити найбільшу швидкість виконання програм, близьку до програми, написаної на асемблері. Проте, розробка ПЗ таким підходом значно сповільнює розробника, адже доводиться концентруватися не тільки на імплементації бізнес – логіки, а також на програмній реалізації базового контролю периферії. Тому такий підхід є нежиттєспроможним у сучасному світі, де швидкість виводу пристрою на ринок найчастіше є найбільш критичним фактором, що обумовлює комерційний успіх проекту.

Більш сучасним методом є розробка ПЗ із використанням бібліотек, які надають розробнику певний HAL над апаратурою. Прикладом таких бібліотек для STM-32 є CMSIS та HAL. У них вже реалізована більша частина функцій для контролю апаратури і більша частина роботи розробника припадає на імплементацію бізнес – логіки.

При розробці ПЗ для мікроконтролерів, велику частину часу забирає ініціалізація периферії на початку програми, для переведення її у необхідний режим роботи. Складність полягає у необхідності налаштовувати тактування та проведенні специфічних налаштувань кожного із блоків. Для спрощення

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цього процесу та економії часу програміста, компанією ST була створена утиліта STM-32 CubeMX, яка дозволяє провести необхідні налаштування периферії у інтуїтивно зрозумілому графічному інтерфейсі, а потім автоматично згенерує код, у якому проведені всі необхідні ініціалізації, а розробнику залишається займатися лише розробкою реалізацією логіки роботи пристрою. CubeMX генерує код, який для ініціалізації периферії використовує бібліотеку HAL.

Враховуючи значну економію часу, яку забезпечує використання CubeMX для початкової ініціалізації та HAL для розробки – прийнято рішення використати цей тулчейн для розробки прошивки мікроконтролера.

10.3 Опис алгоритму попереднього налаштування пристрою

Після першого ввімкнення пристрій знаходиться у неініціалізованому стані та має бути налаштований користувачем.

Для цього ним створюється мережа Wi-Fi. Її пароль є унікальним для кожного пристрою та надається користувачу при покупці пристрою. Пароль генерується на основі унікальної MAC-адреси мережевої карти модуля SKW92-B. Користувач має під'єднатися до мережі Wi-Fi.

Для взаємодії із пристроєм користувач може використати застосунок для смартфонів під керуванням ОС Android або IOS. При запуску, застосунок надає можливість перейти у режим налаштування пристрою.

Зв'язок застосунку та пристрою відбувається наступним чином. На пристрої, за статичною IP-адресою постійно запущений HTTP-сервер lighttpd із певним програмно реалізованим API для взаємодії. Смартфон із застосунком виступає у якості клієнта. Він володіє інформацією про IP-адресу сервера та має функціонал для взаємодії із API.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Все, що має зробити користувач на етапі налаштування системи – ввести у застосунку назву домашньої мережі Wi-Fi та пароль від неї. Після цього пристрій необхідно перезавантажити, надіславши відповідну команду із застосунку на смартфоні.

Схематично порядок дій, які необхідно виконати користувачу наведено на рис. 10.1.



Рисунок 10.1 – Порядок дій користувача для першого налаштування пристрою

10.4 Опис основного алгоритму роботи системи

Після початкової ініціалізації зв'язок із пристроєм відбувається через web-сервер. Користувачу стає доступний функціонал створення розпорядку контролю освітленості та налаштування режиму автоматичного підтримання сталого рівня освітленості. Наприклад, можна зконфігурувати систему таким чином, щоб ролети відчинялися о 6.00, допомагаючи в пробудженні, потім зачинялися об 11.00, коли нікого немає вдома, щоб уникнути надмірного нагріву приміщення прямими сонячними променями, відчинялися о 18.00, коли люди приходять з роботи та зачинялися знову о 23.00, щоб користувачам було краще спати і не заважали пристрої вуличного освітлення.

10.5 Забезпечення тривалого часу автономної роботи системи

Основною проблемою при розробці системи було забезпечити необхідний час автономної роботи від батареї. Задля цього довелося більшу частину часу тримати пристрій у стані глибокого сну.

У обраному мікроконтролері наявний модуль RTC, що дозволяє переводити мікроконтролер у стан зниженого енергоспоживання і пробуджувати його у необхідні моменти часу. Прошивка мікроконтролера зконфігурована таким чином, щоб пробуджуватися кожні 10 хвилин.

Після пробудження мікроконтролер за допомогою MOSFET-транзистора подає живлення на SKW92-B, який, в свою чергу, завантажує з сервера актуальний розпорядок роботи системи. Цей розпорядок зберігається у локальній базі даних SQLite. По інтерфейсу USB, SKW92-B надсилає на мікроконтролер час наступного пробудження згідно розкладу і вимикається.

Мікроконтролер аналізує час наступного пробудження. Якщо до нього залишилося менше 10 хвилин – зберігає його як час наступного пробудження у периферії RTC та робить запис у енергонезалежній пам'яті яку дію

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідно зробити при наступному запуску системи (відкрити або закрити ролети). Після цього мікроконтролер переходить у режим глибокого сну.

Якщо ж до наступного пробудження, згідно розпорядку, залишилося більше 10 хвилин – мікроконтролер робить помітку нічого не робити при наступному пробудженні та знов засинає на 10 хвилин. Схематично алгоритми роботи мікроконтролера та SKW92-B наведені на рис. 10.2 та 10.3.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

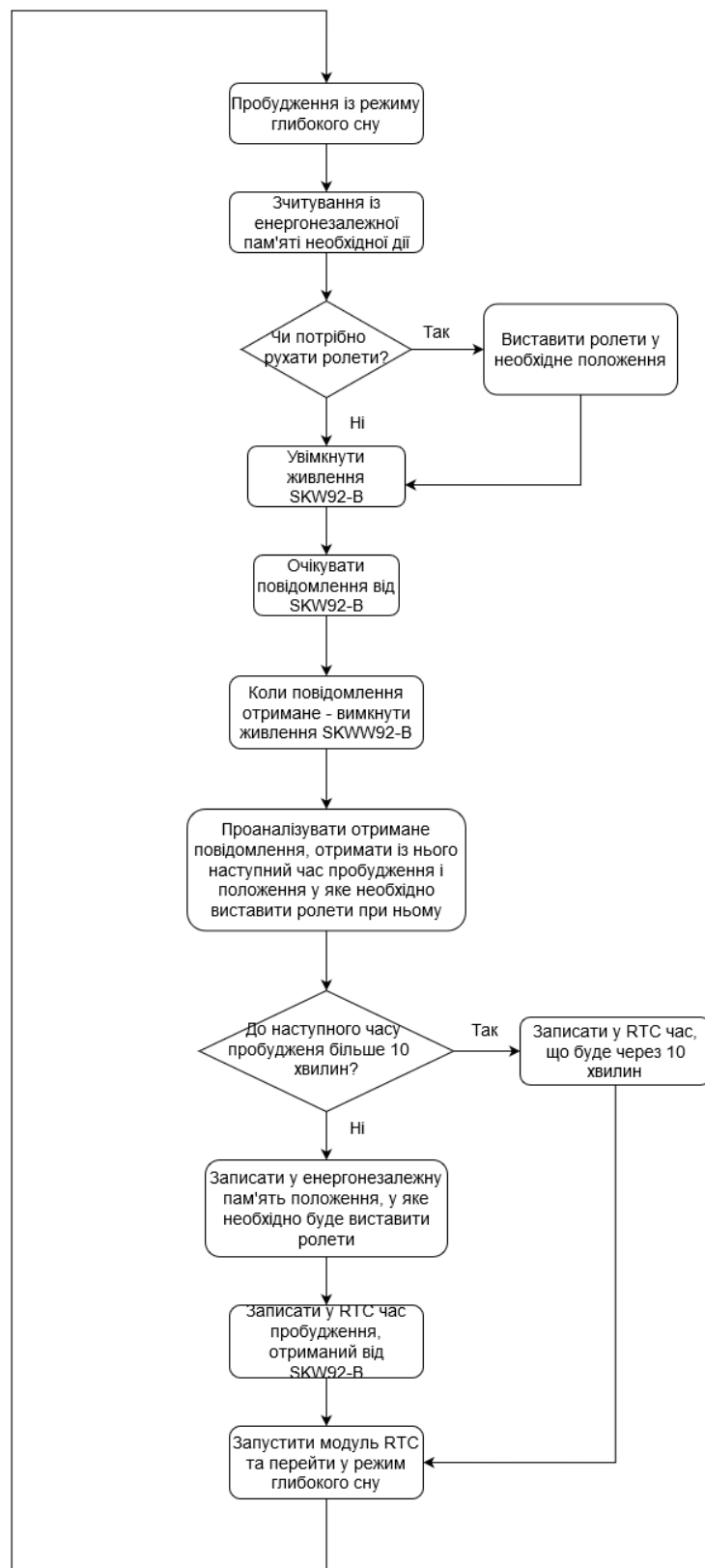


Рисунок 10.2 – Алгоритм роботи прошивки мікроконтролера

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

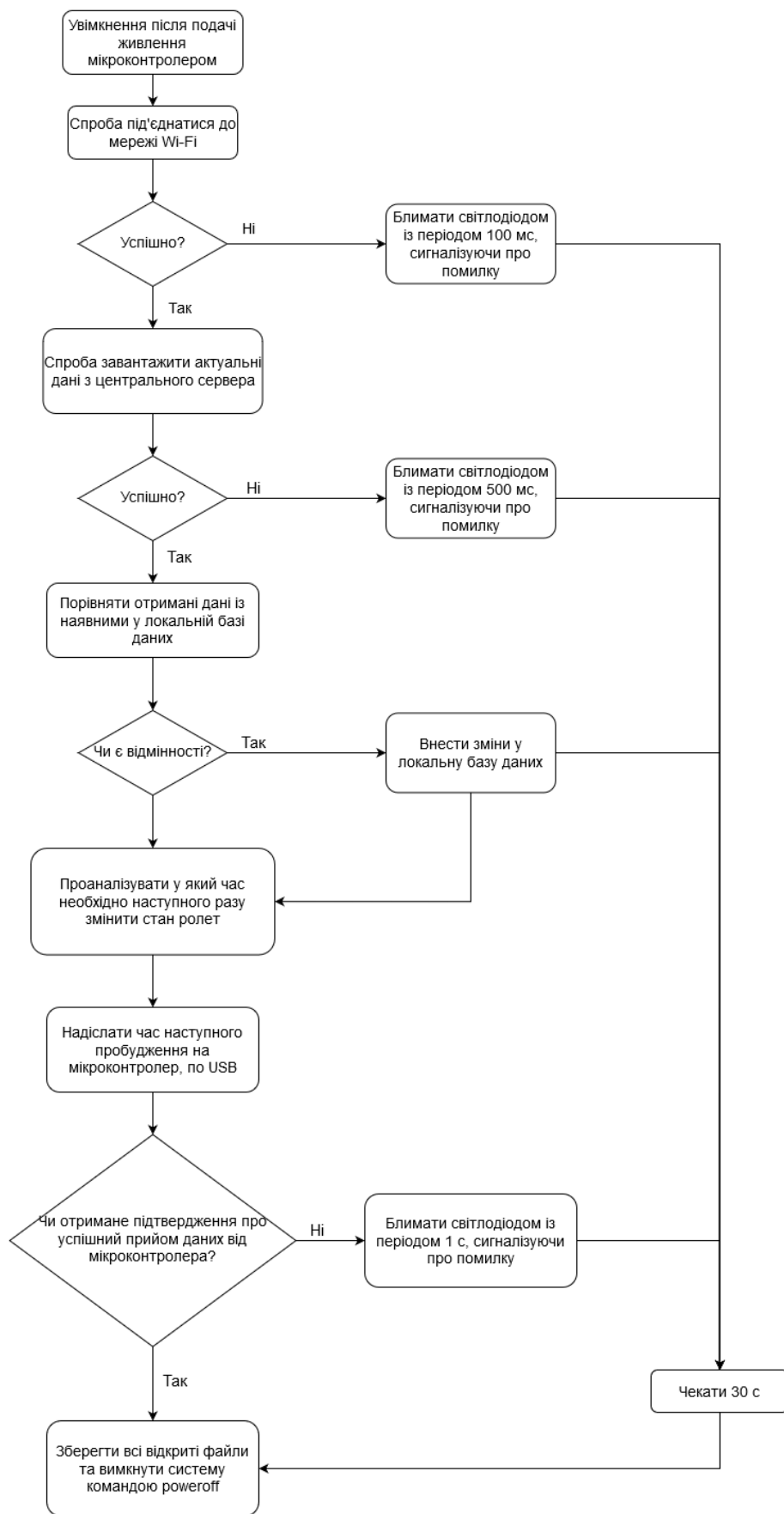


Рисунок 10.3 – Алгоритм роботи ПЗ SKW92-B

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК61.421455.001 ПЗ

Арк.

97

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєкту було спроектовано систему автоматизованого керування віконними ролетами. Розроблений пристрій відповідає вимогам ТЗ. Розробка може застосовуватися вдома, у офісних та виробничих приміщеннях для підвищення комфорту людей, зменшенні витрат на охолодження/нагрів приміщення та забезпечення оптимального світлового режиму для кімнатних рослин.

В першому розділі проведений аналіз ТЗ та проаналізовані доступні методи контролю освітленості приміщень. На основі проведеного аналізу вирішено створити систему на основі рулонних штор. Також наведений перелік способів підтримання сталого рівня освітленості приміщення. Було вирішено використати PID – регулятор. Описано принцип його роботи. Також наведені існуючі цифрові ФНЧ і обрано фільтр Баттерворта, як найбільш підходящий.

Проведений аналіз існуючих технічних рішень. У результаті, виявилось що існуючі системи або мають занадто низький рівень автоматизації, або є занадто дорогими.

У другому розділі створено структурну схему проєкту, продумано із яких модулів має складатися ДП. Проведений вибір елементної бази. Для вибору найбільш критичних мікросхем використано метод матриці параметрів. Проведено розрахунок блоку power-on-reset мікроконтролера. Коректність розрахунків підтверджена симуляцією у програмі LTSpice.

У третьому розділі проведене розміщення конструктивних компонентів на монтажному просторі ДП.

У четвертому – проведений конструкторсько-технологічний розрахунок ДП. Прийнято рішення використати двошарову ДП, виготовлену комбінованим позитивним методом із матеріалу склотекстоліт FR4-2-35-1.5.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обґрунтоване використання 4-го класу точності ДМ та проведені розрахунки, що підтверджують оптимальність цього рішення.

У п'ятому розділі проведений електричний розрахунок ДП.

У шостому розділі проведений температурний розрахунок компонентів, що розсіюють найбільшу потужність: драйвер двигуна TB6612FNG та імпульсний DC-DC перетворювач LM2587. Проведені розрахунки довели, що дані мікросхеми будуть працювати у номінальному тепловому режимі без додаткового охолодження.

У сьомому розділі проведений розрахунок віброміцності ДП. Розрахована власна частота коливань ДП: 599 Гц. Це говорить про правильний вибір кріплення ДП – за 4 сторони та товщини обраного матеріалу - 1.5 мм.

У восьмому розділі проведений розрахунок надійності ДП. Розраховане значення напрацювання на відмову склало 30 років, що говорить про правильно підібраний режим роботи електричних компонентів. Такий гарний результат вдалося отримати завдяки умовам експлуатації приладу у приміщеннях з контрольованою температурою та вологістю.

У дев'ятому розділі була описана методика проєктування друкованого вузлу у САПР Altium Designer. Були розібрані створення бібліотек УГП та посадкових майданчиків, схеми електричної принципової та трасування ДП. Наведений очікуваний зовнішній вигляд ДП пристрою, отриманий за допомогою 3D рендеру.

В десятому розділі описаний алгоритм взаємодії користувача із системою. Обґрунтований вибір ОС FreeRTOS для керування роботою мікроконтролера. Описаний принцип, за допомогою якого досягається збільшення часу роботи пристрою від батареї. Наведена блок-схема, що демонструє послідовність кроків, які необхідно здійснити користувачу для

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

початкового налаштування системи, а також блок-схеми, що описують алгоритми роботи мікроконтролера та SKW92-B.

Наведені у проєкті матеріали дозволяють зробити висновок, що розроблена система задовольняє вимогам ТЗ.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Никулин Е. А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем / Учеб. пособие для вузов — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 640 с.
2. Рабинер Л. Р., Гоулд В. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1978.
3. Сайт системи IKEA FURTYR [електронний ресурс] – режим доступу: <https://bit.ly/2BhNI2o>
4. Сайт системи Soma smart shades [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.somasmarthome.com/>
5. Сайт системи Autoshades [електронний ресурс] – режим доступу: <https://bit.ly/2TTj9Xc>
6. Специфікація Raspberri Pi Zero-W [електронний ресурс] – режим доступу: <https://bit.ly/2zNZ9OX>
7. Специфікація Onion Omega2+ [електронний ресурс] – режим доступу: <https://onion.io/store/omega2p/>
8. Посилання на покупку модуля ESP-01S [електронний ресурс] – режим доступу: <https://bit.ly/36IOsZY>
9. Шваюк М.В. ЗАСТОСУВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ OPENWRT УПРИСТРОЯХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT) / Шваюк М.В., Губар В.Г. / Міжнародна наукова інтернет-конференція "Інформаційне суспільство:технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 47)" / Збірник тез доповідей: випуск 47 (м. Тернопіль, 8 квітня 2020 р.). –Тернопіль. – 2020. – с. 55-56.

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Специфікація дистрибутиву OpenWRT для Skylab SKW92-B [електронний ресурс] – режим доступу: <https://bit.ly/3ckZkyi>
11. Даташит Skylab SKW92B [електронний ресурс] – режим доступу: <https://bit.ly/2TT73NP>
12. Даташит AP1509-33 [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP1509.pdf>
13. Даташит MT3608 [електронний ресурс] – режим доступу: <https://static.chipdip.ru/lib/977/DOC002977116.pdf>
14. Даташит LM2587-ADJ [електронний ресурс] – режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ds/snvs115e/snvs115e.pdf?ts=1590861603854>
15. Даташит TB6612FNG [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.sparkfun.com/products/14451>
16. С. М. Боровиков. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с.
17. Зображення схема PID - регулятора. Автор: Arturo Urquizo [електронний ресурс] – режим доступу: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:PID.svg>
18. Відео «EEVblog #742 - Why Electrolytic Capacitors Are Connected In Parallel» [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=wwANKw36Mjw&t=2s>
19. Опис алгоритму CC-CV для заряджання Li-ion акумуляторів [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.bestgobattery.com/faq/27-what-is-cc-cv-mode.html>
20. Шваюк М.В. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ОСВІТЛЕНОСТІ ПРИМІЩЕНЬ ПРИРОДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА ЗАСОБАМИ ІНТЕРНЕТУ

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕЧЕЙ (IoT) / Шваюк М.В., Губар В.Г. / Міжнародна наукова інтернет-конференція "Інформаційне суспільство:технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 47)" / Збірник тез доповідей: випуск 47 (м. Тернопіль, 8 квітня 2020 р.). –Тернопіль. – 2020. – с. 53-54.

21.Шваюк М.В. СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВІКОННИМИ РОЛЕТАМИ / Шваюк М.В., Губар В.Г. / Міжнародна науково-практична конференція м. Львів, (15-16 квітня 2020 року). – Львів: Львівський науковий форум, 2020. – с. 39.

22.Датасіт TI BQ24103 [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.ti.com/product/BQ24103>

					ДК61.421455.001 ПЗ	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Технічне завдання на проєктування

1. Найменування та область застосування

Система автоматизованого керування віконними ролетами. Область застосування – керування рівнем освітленості приміщень.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проєкт, згідно з наказом по КПІ ім. Ігоря Сікорського № 1196-С від 25.05.2020 р.

3. Мета та призначення розробки

Метою даного проєкту є розробка системи автоматизованого керування віконними ролетами. Даний пристрій дозволяє створити розпорядок, згідно якого кількість природнього світла, що потрапляє у приміщення регулюється в залежності від поточного часу.

4. Технічні вимоги

4.1 Функціональні можливості пристрою

Пристрій повинен відповідати наступним вимогам:

- Автономність, живлення від вбудованої батареї;
- Можливість заряджання батареї від USB;
- Можливість зміни положення ролет в залежності від поточного часу;
- Доступ до мережі Інтернет;
- Можливість автоматичного підтримання сталого рівня освітленості приміщення.

4.2 Вимоги до конструкції

- Габаритні розміри виробу мають дозволити вмонтувати його у корпус стандартних віконних роlet: не більше 200 x 60 x 25 мм;
- Максимальна вага не більше 0,3 кг.

4.3 Умови безпеки обслуговування

Керуватися загальними вимогами безпеки для апаратури низької напруги. ГОСТ 12.2.007-75.

4.4 Вимоги до документації розробки

Вся необхідна документація наводиться в пояснювальній записці до роботи. Додаткова документація не потрібна.

5. Вимоги до складових частин пристрою, сировині, вихідним матеріалам

- Повинні використовуватися легкодоступні електронні компоненти;
- Конструкція пристрою повинна бути ремонтпридатною і повинна забезпечувати взаємозамінність елементів.

6. Вимоги до умов експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ 4.2 за ГОСТ 15150-69.

7. Вимоги до упаковки, транспортування і зберігання

Група умов зберігання ЛЗ.1 за ГОСТ 15150-69. Зберігати в закритих, опалюваних і вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови:

- температура повітря -10 ... +45 ° С;
- відносна вологість повітря від 75% до 98% при 20 ° С;
- атмосферний тиск 86 ... 106 кПа.

Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним транспортом в спеціальній транспортній тарі.

8. Економічні показники

Не розглядаються.

ДОДАТОК Г

**Сертифікат про участь у Міжнародній науковій інтернет-конференції
«Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти
становлення»**



ДОДАТОК Д

Текст статті «ЗАСТОСУВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ OPENWRT У ПРИСТРОЯХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (ІОТ)», опублікованої на Міжнародній науковій інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 47)

Посилання на статтю на web-сайті конференції:

<http://www.konferenciaonline.org.ua/arhiv-konferenciy/arhiv-konferenciy08-04-2020>

Шваюк М.В., Губар В.Г

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

ЗАСТОСУВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ OPENWRT У ПРИСТРОЯХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (ІОТ)

Останнім часом дедалі більшої популярності набувають прилади інтернету речей (ІоТ). Однією із головних галузей їх використання є автоматизація або віддалене керування певними процесами у житлових приміщеннях. Найголовнішою особливістю пристроїв, які можна віднести до категорії ІоТ, є наявність у них доступу до глобальної мережі. Це відкриває цілу низку можливостей по керуванню ними.

Для отримання доступу до мережі Інтернет у пристроях ІоТ зазвичай використовується з'єднання по протоколу Wi-Fi. Причиною цього є наявність

Wi-Fi точки доступу майже у будь-якій оселі. В той же час, використання Wi-Fi – з'єднання додає складностей при проєктуванні пристроїв. Причиною цього є висока вартість мікропроцесорів, достатньо потужних для забезпечення Wi-Fi – з'єднання у порівнянні зі звичайними мікроконтролерами, та їх високе енергоспоживання.

Одним із популярних рішень для керування пристроями IoT є OpenWRT. OpenWRT – це операційна система (ОС), побудована на основі ядра Linux, що набула широкого розповсюдження у вбудованих системах із доступом до Інтернету, а особливо у мережевих пристроях (комутаторах, маршрутизаторах). Вона включає стандартний для Linux – подібних ОС набір програм util-linux, що дозволяє працювати із нею користувачу, який має досвід роботи з іншими Linux – дистрибутивами [1].

Головною перевагою OpenWRT перед звичайними дистрибутивами Linux для вбудованих систем є надзвичайно низькі вимоги до апаратури (швидкодія, об'єм пам'яті, обчислювальні ресурси, тощо), на якій ОС може бути запущена. Існують збірки OpenWRT під платформи із 4 МБ постійної flash – пам'яті та 32

МБ оперативної RAM. Для функціонування із задовільною швидкістю достатньо процесора з частотою 360 МГц [2]. Вартість найдешевших одноплатних комп'ютерів, здатних запустити OpenWRT та на яких присутня апаратура для роботи із Wi-Fi починається з 7\$ [3]. Це набагато нижче, ніж у одноплатних комп'ютерів, що розраховані на звичайні дистрибутиви Linux для вбудованих платформ.

Іншим можливим варіантом забезпечення доступу до мережі Wi-Fi є використання модулів, що працюють без операційної системи, наприклад, популярна серія систем на кристалі ESP8266 [4]. Їх перевагою є низька вартість [5]. Але, при цьому, розробка програмного забезпечення (ПЗ) для

них можлива лише із застосуванням мов C, C++ та низькорівневого програмного інтерфейсу [6]. Програмісту доводиться працювати на рівні близькому до апаратури, що збільшує вимоги до його кваліфікації та робить процес розробки набагато довшим і дорожчим. Це знижує конкурентні переваги виробу.

При використанні одноплатного комп'ютера під керуванням OpenWRT розробнику стають доступні високорівневі мови програмування: Python, Javascript, Go, Lua, PHP, Ruby та інші [7]. Для цих мов доступні пакети програмних бібліотек, що дозволяють реалізовувати необхідний функціонал, певною мірою абстрагуючись від апаратури, на якій програма буде виконуватися. В свою чергу, це дозволяє повторно використовувати вже розроблене ПЗ при зміні апаратної платформи, що значно зменшує вартість розробки пристроїв.

Також OpenWRT надає зручний інтерфейс для створення власних дистрибутивів – OpenWRT Buildroot. Цей програмний засіб дозволяє за короткий час налаштувати ПЗ, що буде у образі ОС, який розробник отримає після компіляції. Якщо необхідно створити образ ОС для декількох апаратних платформ – OpenWRT Buildroot автоматично завантажить та встановить набір ПЗ, специфічний для певної архітектури та скомпілює образ. Це також знижує необхідну кваліфікацію інженера і вартість розробки продукту.

При роботі зі складними інтерфейсами передачі даних (Wi-Fi, USB, Bluetooth), багато зусиль витрачається на розуміння принципу їх роботи та налаштування доступного апаратного забезпечення. Це займає багато часу та потребує високої кваліфікації програміста. У випадку OpenWRT, розробник має доступ до вже наявних драйверів апаратури інтерфейсів передачі даних. Він може використати програмний інтерфейс для швидкої реалізації необхідного функціоналу.

Більша потужність мікропроцесорів, здатних запускати OpenWRT дозволяє обробляти великі масиви даних, що недоступно для простіших систем, типу ESP8266. Це дозволяє їм з легкістю виконувати задачі потокової передачі відео в реальному часі, або вести активний обмін даними із сервером та подальшу обробку цих даних на пристрої.

Враховуючи перелічені особливості, використання апаратури із ОС OpenWRT є оптимальним рішенням для контролю пристроїв IoT. Це дозволяє знизити час та вартість розробки продукту, а також дає можливість обробляти великі масиви даних у реальному часі.

При цьому, вартість апаратури, на якій можна запустити OpenWRT, є вищою, у порівнянні із простішими Wi-Fi – мікроконтролерами. Тому їх використання є виправданим для масових пристроїв користувацької електроніки, для яких якнайнижча ціна є критичним фактором. При цьому використання довшого та дорожчого процесу проектування є виправданим.

Література

- 1) <https://openwrt.org/>
- 2) <https://openwrt.org/toh/olimex/rt5350f-olinuxino-evb>
- 3) <http://www.skylabmodule.com/skw92b/>
- 4) <https://www.sparkfun.com/products/13678>
- 5) bit.ly/2dollars_esp8266_module
- 6) bit.ly/esp8266_programming_ways
- 7) bit.ly/openwrt_programming_languages

ДОДАТОК Е

Текст статті «МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ОСВІТЛЕНOSTІ ПРИМІЩЕНЬ ПРИРОДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА ЗАСОБАМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ», опублікованої на Міжнародній науковій інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 47)

Посилання на статтю на web-сайті конференції:

<http://www.konferenciaonline.org.ua/arhiv-konferenciya/arhiv-konferenciya08-04-2020>

Шваюк М.В., Губар В.Г.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ОСВІТЛЕНOSTІ ПРИМІЩЕНЬ ПРИРОДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА ЗАСОБАМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT)

Останнім часом технології “розумного будинку” дедалі більше проникають у наше життя. Це актуально і для контролю освітленості приміщення - люди намагаються автоматизувати цей процес та зробити його зручнішим.

Зазвичай, регулювання освітленості помешкання відбувається вручну, за допомогою жалюзі, ролет або штор. Це вимагає втручання користувача для регулювання яскравості освітлення при зміні його виду діяльності або інтенсивності зовнішнього освітлення. Це робить неможливим зміну рівня освітленості без участі людини.

Необхідність автоматичного регулювання може виникнути у різних ситуаціях:

- Вночі, коли користувач спить, задля поліпшення якості сну;
- При занятті діяльністю, що потребує підтримання сталого рівня освітленості у приміщенні, наприклад, читання або шиття;
- Для запобігання опіків кімнатних рослин занадто інтенсивним освітленням опівдні;
- Якщо віконний блок складається із декількох окремих вікон – ручне регулювання кількох механізмів стає обтяжливим.

Ці приклади роблять актуальним створення автоматизованої системи регулювання рівня освітленості приміщення зовнішніми джерелами світла.

Існує три види віконних систем, що дозволяють регулювати інтенсивність освітлення: жалюзі, ролети та римські штори. Кожна із систем має свої переваги і недоліки.

Жалюзі є найрозповсюдженішим видом систем. Вони мають найнижчу ціну і, використовуючи їх, найпростіше отримувати зворотній зв'язок між кутом повороту пластин та поточним рівнем освітленості. Але, при цьому, для зміни куту повороту пластин необхідно застосувати двигун із великим крутним моментом, що збільшує вартість, розміри та енергоспоживання системи. При цьому, через особливості конструкції, двигун необхідно розміщувати перпендикулярно до площини пластин, що збільшує габарити пристрою. Також такі системи є не естетичними та погано поєднуються з сучасними інтер'єрами приватних осель. За ними складно доглядати через необхідність протирати від пилу пластинки по-окремі.

Тканинні ролети є другим за розповсюдженістю типом систем. Вони не мають недоліків жалюзі. Їх обертання потребує менше крутного моменту.

Також, через особливості конструкції, двигун розміщується у площині тканини, що зменшує габаритні розміри пристрою. Системи такого типу можуть бути підібрані під будь-який стиль інтер'єру, що робить можливим їх використання як у житлових, так і у виробничих приміщеннях та офісах. Їх недоліком є складність отримання моделі залежності освітленості від положення штори. Проте, цей недолік може бути скомпенсований програмно.

Римські штори є найменш розповсюдженим варіантом. Їх неодмінною перевагою є зовнішній вигляд. Проте, найвища вартість, складність отримання моделі залежності освітленості та механізм регулювання положення штор, який чинить проблеми для кріплення електродвигуна, робить використання такого роду систем найменш доцільним.

Проаналізувавши доступні варіанти, можна зробити висновок, що найбільше для створення автоматизованого керування освітленням підходить система на основі тканинних ролетів. Її вибір дозволяє зменшити габарити пристрою за рахунок використання менш потужного та габаритного двигуна і його вдалого розташування. Також, особливості конструкції системи дозволяють поєднати її із майже будь-яким інтер'єром, що стане перевагою для потенційних користувачів продукту.

ДОДАТОК Є

**Текст статті «СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ
ВІКОННИМИ РОЛЕТАМИ», опублікованої на Міжнародній науково-
практичній конференції "Актуальні проблеми сучасної науки та освіти "
(15-16 квітня 2020 року)**

Посилання на збірник із матеріалами конференції:

<http://lviv-forum.inf.ua/save/2020/15-16.04.2020/%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0%201.pdf>

Шваюк М.В., Губар В.Г.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» , м. Київ

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВІКОННИМИ РОЛЕТАМИ

Останнім часом технології “розумного будинку” стають дедалі розповсюдженішими. Вони все більше інтегруються у життя людей. Така тенденція спостерігається і у контролі освітленості приміщень - люди намагаються автоматизувати цей процес та зробити його зручнішим.

Автоматичне регулювання яскравості освітлення приміщення можна реалізувати трьома способами: за допомогою жалюзі, тканинних ролет та римських штор. Найбільш оптимальним варіантом для реалізації автоматизованої системи із функціоналом інтернету речей (IoT) є використання тканинних ролет [1].

Аналіз доступних рішень

Для забезпечення функціоналу IoT, система має задовольняти таким вимогам:

- автономна робота від вбудованої батареї;
- пристрій керується через застосунок на смартфоні та через web-сайт, з'єднання відбувається за допомогою технології WiFi;
- можливо створити розпорядок, згідно якого система буде змінювати освітленість приміщення у задані моменти часу;
- можливість автоматичного підтримання заданого рівня освітленості приміщення при зміні інтенсивності зовнішнього природного освітлення;
- можливість виготовлення системи під вікна різного розміру;
- світлодіодна індикація поточного стану пристрою;
- відправка системою повідомлень про виниклі проблеми або низький рівень заряду батареї;
- інтеграція із найпопулярнішими системами “розумного будинку” - Apple Home, Google Home, Amazon Alexa.

Розробка експериментального зразка

Загальна структура пристрою

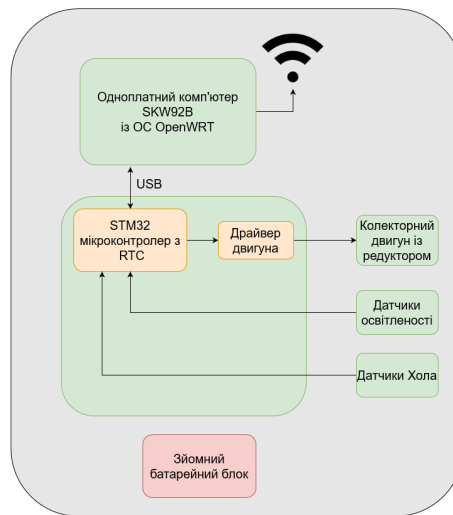


Рис. 1. Структурна схема приладу

Електрична частина приладу складається із двох основних блоків. Перший - це одноплатний комп'ютер під керуванням ОС OpenWRT, який відповідає за з'єднання із сервером та дозволяє користувачу керувати пристроєм. Як показало дослідження, ОС OpenWRT - є найкращим варіантом для IoT – застосунків, який дозволяє значно пришвидшити розробку системи [2].

Другий складається із мікроконтролера STM32 та пристроїв, якими він керує. Ця частина відповідає за керування апаратними компонентами системи. Зв'язок між блоками виконаний за допомогою інтерфейсу USB.

Зв'язок із мережею

Для забезпечення зв'язку із мережею використано модуль Skylab SKW92B. На ньому запущена ОС OpenWRT. Модуль має вбудовані апаратні засоби для роботи із протоколом Wi-Fi. Дані про поточний стан системи та запланований розпорядок роботи зберігаються як у локальній SQLite базі даних, так і на сервері, та періодично синхронізуються.

Мікроконтролер

У приладі використано мікроконтролер STM32 серії F0. Ключовим моментом при його виборі була наявність периферії RTC, календаря та USB при низькій ціні мікросхеми.

Для максимального зниження енергоспоживання, система більшу частину часу перебуває у режимі глибокого сну. Періодично, по надходженню переривання від периферії RTC, мікроконтролер переходить в активний режим роботи, виводить модуль SKW92B із режиму сну та ініціює обмін даними по USB.

Електричний привід моторів

Для приведення в рух ролет, використано колекторний електродвигун постійного струму із понижуючим редуктором. Іншим можливим рішенням могло бути використання крокових електродвигунів. Проте, колекторні двигуни у кілька разів дешевше та ними простіше керувати. Понижуючий редуктор підвищує крутний момент, що дозволяє використати двигун з меншими габаритами.

Підтримка сталого рівня освітленості

Для реалізації функціоналу підтримання сталого рівня освітленості в приміщенні, на пристрої встановлюється два сенсори освітленості: з боку вікна та з боку кімнати. Система регулює яскравість освітлення всередині кімнати, змінюючи положення штор, та, як наслідок, кількість світла що потрапляє у приміщення.

Блок батарейного живлення

Акумуляторний блок забезпечує автономне функціонування приладу. Для максимального спрощення виробництва він складається із літій-іонних акумуляторів типорозміру 18650. Для заряджання у батарейному блоці

встановлено роз'єм micro USB та мікросхему-контролер заряду-розряду літій-іонних акумуляторів.

Принцип роботи

При першому запуску системи, користувач має її налаштувати за допомогою застосунку на смартфоні. Для цього модуль SKW92B створює мережу Wi-Fi, користувач під'єднується до неї та вказує дані домашньої мережі Wi-Fi, що має вихід до Інтернету. Система під'єднується до серверу і користувач може задати розпорядок роботи.

Для зменшення енергоспоживання, система переходить у режим глибокого сну. Периферія RTC мікроконтролера раз на декілька хвилин пробуджує систему. Вона робить запит на сервер чи не змінився розпорядок і, якщо необхідно, змінює положення штор. Після цього система знову переходить у режим сну.

Висновок

Розробка задовольняє всі вимоги до IoT – систем контролю освітленості, що робить її технологічно досконалішою за аналоги, які не містять такого функціоналу. Завдяки поєднанню автономної роботи від батареї, довгого часу роботи без підзарядки та наявності функціоналу IoT, розроблена система повністю задовольняє потребу у автоматичному регулюванні освітленості приміщення та може застосовуватися для створення «розумного будинку» разом з іншими приладами інтернету речей.

Література:

- 1) Шваюк М.В. Методи контролю освітленості приміщень природними джерелами світла засобами інтернету речей (IoT) [Електронний ресурс] / Шваюк М.В., Губар В.Г. // Міжнародна наукова інтернет-конференція "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" – 2020. – Випуск 47. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1yeluat7ydc52zOXaNTXsZPmsCUNXS2YS/view>
- 2) Шваюк М.В. Застосування операційної системи OpenWRT у пристроях інтернету речей (IoT) [Електронний ресурс] / Шваюк М.В., Губар В.Г. // Міжнародна наукова інтернет-конференція "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" – 2020. – Випуск 47. – Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/1Q68Pkohj9bY4_u7KNrymDwt1EmhnCULI/view